สำนักหอสมุด

อภินันทนาการ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 21 มี.ค. 2565
เลขทะเบียน 104982o
เลขเรียกหนังสือ ว TR
ธ47
.6
2784s
2563

คณะผู้วิจัย สังกัด

1. ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. วิสิฐ จันมา คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
2. ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. เจนยุทธ ศรีหิรัญ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ (สกว.)

ประกาศคุณูปการ

การศึกษาวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณา ช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษาและร่วมศึกษาวิจัยจากคณะผู้วิจัย ผู้เชี่ยวชาญที่ปรึกษา ผู้ทรงคุณวุฒิ จาก ที่ได้กรุณาถ่ายทอดความรู้ แนวคิด วิธีการ คำแนะนำ ข้อเสนอแนะและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ยิ่ง และคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ถึงผู้เชี่ยวชาญผู้ให้ความกรุณาตอบแบบสอบถามแบบประเมินและสัมภาษณ์ข้อมูลช่วยให้การศึกษาวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ รวมทั้งสำนักประสานงานชุดโครงการยางพารบุคคลที่ผู้วิจัยได้อ้างอิงทางวิชาการตามที่ปรากฏในบรรณานุกรม

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยวิจัยทุกท่าน กัลยาณมิตรและนิสิตที่มาช่วยงาน ตลอดจนทุกท่านที่แนะนำส่งเสริมให้กำลังใจ มอบความช่วยเหลือให้คณะผู้วิจัย ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามในที่นี้มาได้ทั้งหมด จึงขอขอบคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาด้านเทคนิคและการออกแบบตัวละครสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นของไทย และผู้ที่สนใจศึกษาสืบต่อไป

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม ในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. เพื่อพัฒนาและออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นสำหรับงานแอนิเมชั่นเพื่อให้สามารถผลิตได้ในระบบอุตสาหกรรม 2 . เพื่อพัฒนาวัสดุและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในระบบอุตสาหกรรม 3. เพื่อทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น

โดยได้ผลของการวิจัยฯตามวัตถุประสงค์ได้แก่ 1. การพัฒนารูปแบบรูปร่างรูปทรงหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่น จำนวน 9 รูปแบบ 2. ได้ศึกษาวิจัยทดสอบและทดลองวิจัยวัสดุที่เหมาะสม ได้แก่พลาสติกไนล่อนที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น หนืดเหนียวใกล้เคียงยาง เพื่อการเคลื่อนไหว และจัดท่าทางของตัวละครได้อย่างมั่นคงแข็งแรง 3. ทดสอบประสิทธิภาพประเมินความพึงพอใจตอหุ่นโรงสร้างสต็อบโมชั่นด้วยการประเมินผลงานโดยสถิติที่ใช้ในการวิจัยคือ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) มีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ร้อยละอยู่ 3.5225 ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน (S.D.) 0.43825 ผลการประเมินรวมอยู่ในระดับเหมาะสมปานกลาง เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่ามีความพึงพอใจในแต่ละด้านอยู่ในระดับปานกลางในทุกด้าน โดยได้นำไปให้กลุ่มนักวิชาการ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบภาพเคลื่อนไหว ในบริษัทชั้นนำของประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับผลงานด้านแอนิเมชั่น

Abstract

The purposes of this research were 1) to develop and design stop motion structural models for animation work so that it could be produced in an industrial system, 2) to develop suitable materials and production processes in an industrial system, and 3) to test and evaluate the effectiveness of the prototype of the stop motion animation structural models. The results of the research are as follows: 1) regarding the development of stop motion structural models, there were 9 models, 2) based on the research, test, and experiment, the suitable material was nylon plastic which is elastic and sticky, similar to rubber. It was good for the movement and forming the position of the characters firmly, and 3) regarding the test of the efficiency and the evaluation of the satisfaction with these structural models, the statistics used in the research were percentage and mean ($\overline{X}$). The mean score was 3.52, and the standard deviation (SD) was 0.43. The overall evaluation was at a moderate level. When considering in each aspect, it was found that satisfaction in each aspect was at a moderate level. The evaluation was conducted by a group of academics and specialists in animation design in leading companies in Thailand.

สารบัญ

รายการ	หน้า
บทที่ 1	
ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
ขอบเขตของการวิจัย	6
ทฤษฎี สมมติฐานและ/หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย	6
การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	7
วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ในการทดลอง /เก็บข้อมูล	12
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัยและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	13
งบประมาณโครงการวิจัย	14
เป้าหมายของผลผลิต (Output) และตัวชี้วัด	16
ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัยที่มีอยู่	19
บทที่ 2	
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับแป้ง	10
Stop – Motion Armature Machining	18
The Importance of Anatomy	22
ประวัติศาสตร์ด้านภาพเคลื่อนไหวประเภท Stop Motion	57
การศึกษาวิเคราะห์เทคนิคกระบวนการสร้างสรรค์ผลงานสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น	110
ตารางสรุปการวิเคราะห์วัสดุและเทคนิคภาพยนตร์สต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น	149
สรุปผลการศึกษา	151
บทที่ 3	
วิธีการดำเนินการวิจัย	92
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	93
การออกแบบสต็อปโมชั่นแอนิเมชัน	93
กรอบวิธีการศึกษาวิจัย	95
การประเมินผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจ	96
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	96
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	97

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 97
การวิเคราะห์ข้อมูล 99

บทที่ 4 หน้า
ผลการทดลอง 101
การวิเคราะห์หุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่น 101
กระบวนการออกแบบหุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion รูปแบบที่ 1 116
ขั้นตอน 3D Printing การพิมพ์โมเดล 3 มิติ 122
ขั้นตอน ผลิต Ball joint และ Socket 124
ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion 129
แบบที่ 1 วัสดุเรซิ่น 134
แบบที่ 1 วัสดุพลาสติก PLA 136
แบบที่ 3 วัสดุเรซิ่นแบบลดทอนสัดส่วน 137
การปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ 139
การประเมินผลงานออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่น 155

บทที่ 5
บทสรุปผลการศึกษาวิจัย 189
แนวคิดในการออกแบบ และหน้าที่คุณสมบัติของชิ้นส่วนต่างๆ
ของหุ่นโครงร่างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น 204
การสร้างท่าทางและการเคลื่อนไหว (Animated) 205
อภิปรายผลการวิจัย 210
เป้าหมายของผลผลิต (Output) และตัวชี้วัด 210

บรรณานุกรมเอกสารอ้างอิง 211
ภาคผนวก 214

บทที่ 1

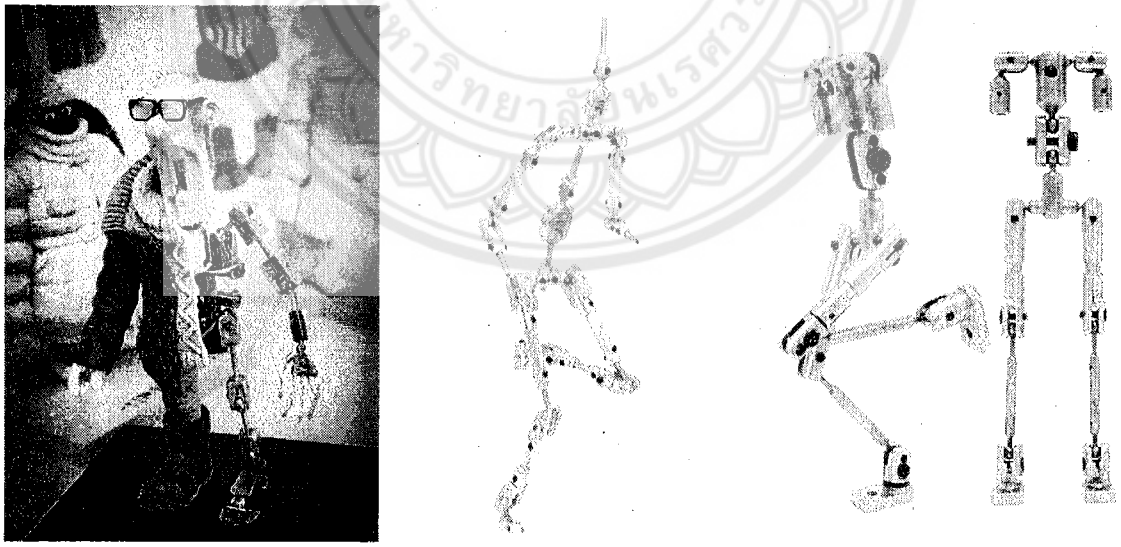
1) ความสำคัญและที่มาของโครงการโดยสรุป

การพัฒนาเศรษฐกิจของไทยได้เข้าสู่ยุค “ประเทศไทย 4.0” หรือ “ไทยแลนด์ 4.0” ซึ่งหมายถึง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจไปสู่ “Value-Based Economy” หรือ “เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม” หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นเศรษฐกิจที่สร้างความมั่งคั่งผ่านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วัฒนธรรม ความคิดสร้างสรรค์ เพื่อสร้างสินค้าที่เป็น “นวัตกรรม” โดยรัฐบาลให้ความสำคัญกับ 5 กลุ่มเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเป้าหมาย อันได้แก่ กลุ่มที่ 1 อาหาร ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและไบโอเทค กลุ่มที่ 2 สุขภาพ การมีสุขภาพที่ดี และไบโอเมดดิซีน กลุ่มที่ 3 Automation การใช้เครื่องจักรทำงานแทนคน หุ่นยนต์และเครื่องกล กลุ่มที่ 4 อุปกรณ์ ดิจิตอล Internet of Things และ Embedded Technology กลุ่มที่ 5 วัฒนธรรม การสร้างสรรค์ และการเพิ่มมูลค่าบริการ การเปลี่ยนแปลงโมเดลเศรษฐกิจนี้ ถือเป็นจุดเปลี่ยนสำคัญและส่งผลต่อการศึกษาไทย การวางแผนปรับปรุงหลักสูตร การเรียนการสอน ตลอดจนการวัดและประเมินผล เพื่อปรับปรุง พัฒนาคุณภาพบัณฑิตให้มีความรู้และทักษะที่จำเป็นต่อความต้องการในปัจจุบันและในอนาคต สอดรับกับทิศทางการพัฒนาเศรษฐกิจประเทศไทย 4.0 ที่กำหนดเป็นแนวทางและบรรจุในแผนการศึกษาแห่งชาติปี 2560-2574 ซึ่งเริ่มใช้วันที่ 1 ต.ค.2559 ต่อไป ดังนั้น เพื่อปรับตัวให้ตอบสนองต่อสภาพเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลงไป การเพิ่มขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม (Technology and Innovation) ความคิดสร้างสรรค์ (Creativity) และธุรกิจ (Business) ให้เกิดขึ้นเป็นทรัพย์สินทางปัญญา เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจและตอบสนองความต้องการของตลาดแรงงานทั้งในและต่างประเทศ

แอนิเมชั่นหรือภาพเคลื่อนไหวซึ่งอยู่ในกลุ่มที่ 5 ของแผนกลยุทธพัฒนาประเทศไทยแลนด์ 4.0 ปัจจุบันนับเป็นสื่อหลักในการเผยแพร่ โน้มน้าว ชักจูงในการนำเสนอเรื่องราวทางวัฒนธรรม อารยะธรรม ความเจริญของประเทศได้เป็นอย่างดี (Zhen Liu,2007) งานด้านแอนิเมชั่นถูกจัดอยู่เป็นหน่วยหนึ่งในงานหลักของเศรษฐกิจสร้างสรรค์ (Creative Economy) ซึ่งมีความสำคัญ และได้ถูกบรรจุอยู่ในร่างแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ ฉบับที่ 11 (พ.ศ.2555 – 2559) แอนิเมชั่นเป็นสื่อสากลที่สามารถเข้าถึงชนทุกชาติทุกภาษา แต่ละชาติและแต่ละวัฒนธรรมอาจมีความแตกต่างในเรื่องของภาษาพูด แต่สำหรับแอนิเมชั่นซึ่งเป็นภาษาภาพที่มีการแสดงออกด้วยบุคลิก ลักษณะ ท่าทางสีหน้า อารมณ์ นั้นกลับเป็นสิ่งที่ทำให้ผู้ชมสามารถเข้าใจได้ง่ายทั้งเด็ก เยาวชนและผู้ใหญ่ จึงทำให้แอนิเมชั่นเป็นที่นิยมชื่นชมของทุกวัย ซึ่งเหมือนกับภาพยนตร์ที่เป็นส่วนหนึ่งของภาษาเช่นเดียวกัน (Peter Kivy, 2004, Page 233) การศึกษาและพัฒนาองค์ความรู้ในเรื่องแอนิเมชั่นเป็นแนวทางที่ได้รับการส่งเสริมจากทางภาครัฐ ทั้งจากสำนักงานส่งเสริมอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์แห่งชาติ SIPA (Software Industry Promotion Agency) มาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปีพ.ศ. 2546 จนถึงปัจจุบัน และคำว่าการ์ตูนสร้างชาติก็ได้รับการขานรับจากสื่อมวลชนและผู้คนในสังคมไทย สอดคล้องกับการตื่นตัวเรื่องเศรษฐกิจสร้างสรรค์ ตัวอย่างจากประเทศญี่ปุ่น การ์ตูนสร้างชาติ เป็นวลีที่คนในชาติญี่ปุ่นกล่าวได้อย่างเต็มปากเต็มคำ และเต็มความภาคภูมิ ประมาณการได้ว่าในแต่ละปีชาวญี่ปุ่นใช้เงินกว่า 5 แสนล้านเยนไปกับการซื้อหนังสือการ์ตูน และยังบุกไปตีตลาดอีกหลายประเทศทั่วโลก (ถิรนันท์ อนวัชศิริวงศ์ , พิรุณ อนวัชศิ

ริวงศ์ ,หน้า 243- 244) มูลค่าทางเศรษฐกิจและรายได้ของภาพยนตร์การ์ตูนที่สร้างรายได้ไปทั่วไปโลกนั้นกว่า 80,500 ล้านบาท ศึกษาและรายงานผลประกอบการในด้านแอนิเมชั่นของไทยมีมูลค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นทุกๆปี สรุปผลในปีพ.ศ.2549 มีมูลค่ากว่า 4,530 ล้านบาท และคาดว่าจะเพิ่มขึ้น เป็น 9,000 – 10,000 ล้านบา และในปี 2557 มูลค่าตลาดรวมของธุรกิจดิจิตอลคอนเทนต์ประเทศไทยมีมูลค่าสูงถึงกว่า 17,000 ล้านบาท ประมาณ 0.27 % ของมูลค่าการตลาดโลก โดยในส่วนของแอนิเมชั่นมีมูลค่าส่งออกอยู่ที่ 750,000,000 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 80 ของตลาดแอนิเมชั่นของไทยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1. ผลิตผลงานภายใต้ลิขสิทธ์ของตนเอง (IP) 2. รับจ้างผลิตผลงานภายใต้ลิขสิทธิ์ของผู้ประกอบการอื่น (Outsource) ปี 2558 ตลาดดิจิทัลคอนเทนท์ไทยมีมูลค่าสูงถึง 12,745 ล้านบาท (บทสรุปผู้บริหารสำนักงานส่งเสริมอุตสาหกรรมซอฟท์แวร์แห่งชาติ 2557)

คาดการณ์ว่าในช่วงปี 2556 – 2559 มูลค่าตลาดแอนิเมชั่นของไทยจะเติบโตขึ้นร้อยละ 10 – 15 มูลค่าตลาดส่วนใหญ่ยังคงเกิดจากผลิตภัณฑ์นำเข้าเป็นหลัก คิดเป็นสัดส่วนโดยเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 70 ของมูลค่าตลาด ซึ่งหมายความว่าผลผลิตที่เป็นงานสร้างสรรค์ของผู้ประกอบการไทยยังคงมีสัดส่วนที่อยู่ในระดับไม่สูง แต่เนื่องจากจุดแข็งของบุคลากรในอุตสาหกรรมดิจิตอลคอนเทนท์ ด้านแอนิเมชั่นของไทย มีทักษะความเชี่ยวชาญระดับสูงในด้านเทคนิคและฝีมือการผลิตชิ้นงานที่ปราณีต ละเอียดอ่อน รวมทั้งราคาที่สามารถแข่งขันได้ จึงส่งผลดีให้อุตสาหกรรมดิจิตอลคอนเทนท์ประเภท แอนิเมชั่นยังมีโอกาสสามารถสร้างรายได้อีกไม่น้อย การออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นในครั้งนี้เป็นการต่อยอดงานวิจัยไปสู่การออกแบบและผลิตในระบบอุตสาหกรรมเพื่อการศึกษาเรียนรู้และพัฒนาอุตสาหกรรมแอนิเมชั่นไทยต่อไป

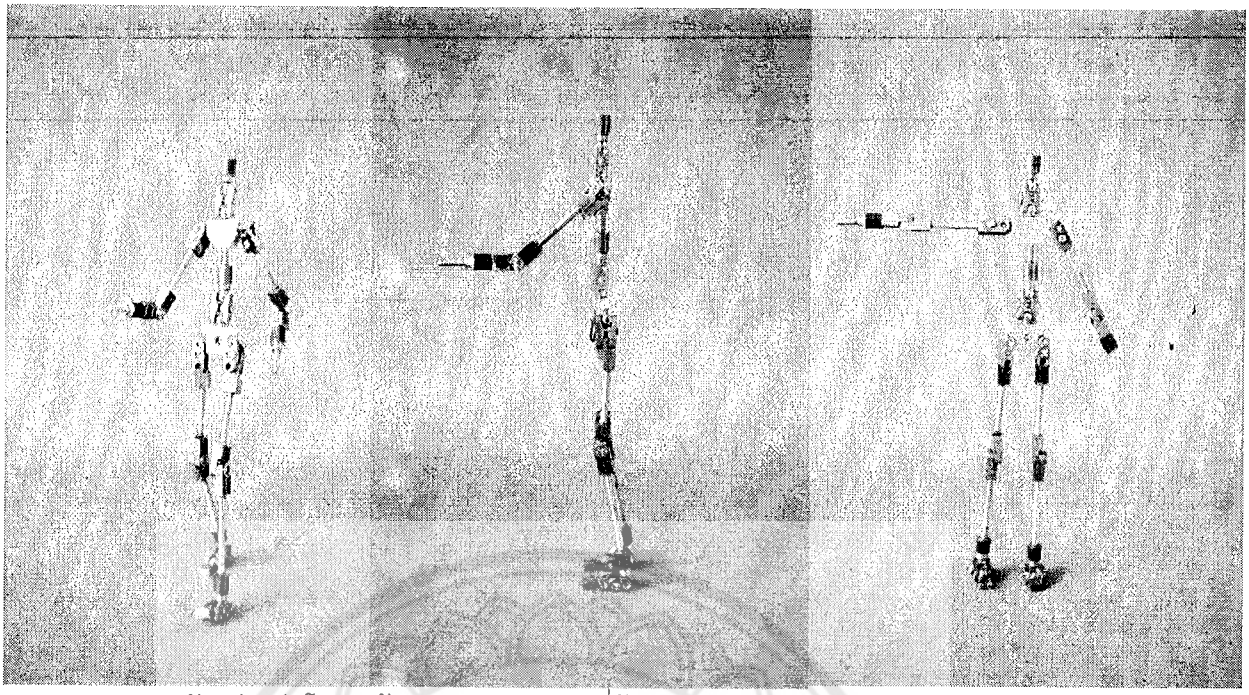


ภาพที่ 3 ตัวอย่างหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรม

ที่มา www.pinterrest.com

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพาราแปรรูปเบื้องต้นอันดับหนึ่งของโลก จึงมีวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตภัณฑ์ยางที่เป็นสินค้าอุตสาหกรรมที่อุดมสมบูรณ์ ในช่วงเวลาที่ผ่านมาผลิตภัณฑ์ยางแม้มีการขยายตัวในการผลิตและส่งออกอย่างต่อเนื่อง แต่สัดส่วนการใช้ยางที่ผลิตได้ในประเทศมาผลิตเป็นสินค้าอุตสาหกรรมยังอยู่ในระดับต่ำ แม้ประเทศไทยจะสามารถขยายการเพาะปลูกยางพาราได้มากและครองความเป็นผู้นำในการผลิตและส่งออกในยางแปรรูปขั้นต้นในปัจจุบัน แต่เนื่องจากประเทศต่างๆ เช่น จีน อินเดีย และประเทศเพื่อนบ้านของไทย ต่างมีการส่งเสริมการเพาะปลูกยางพารามากขึ้น ผลผลิตยางพาราธรรมชาติในโลกจึงน่าจะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต ประเทศไทยจะเผชิญกับการแข่งขันที่รุนแรงขึ้นในผลิตภัณฑ์ยางแปรรูปขั้นต้น นอกจากนี้ ในเวลาที่ผ่านมา ราคายางพาราในตลาดโลกก็มีความผันผวนซึ่งส่งผลกระทบต่อรายได้ของชาวสวนยาง การส่งเสริมการนำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นสินค้าอุตสาหกรรม จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะเพิ่มการใช้ยางพาราที่ผลิตได้ในประเทศ และลดการพึ่งพาตลาดต่างประเทศในผลิตภัณฑ์ยางแปรรูปขั้นต้นได้ การผลิตสินค้าแปรรูปสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางพาราได้มากกว่าการส่งออกในรูปวัตถุดิบแปรรูปขั้นต้นเป็นอย่างมาก ดังนั้นไทยควรปรับเปลี่ยนแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพาราจากประเทศที่ผลิตมากได้น้อย (More for Less) ไปสู่ผลิตมากได้มาก (More for more) โดยยกระดับจากการเป็นผู้ผลิตยางพาราอันดับหนึ่งของโลกไปสู่ศูนย์กลางของโลกด้านผลิตภัณฑ์ยาง (World Center of Rubber Products) เพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันโดยต้องเป็นฐานการผลิตอย่างครบวงจรของผลิตภัณฑ์จากยางพาราและต้องเป็นผู้นำในการสร้างนวัตกรรมจากยางพาราเพื่อเพิ่มมูลค่ายางของประเทศ (พรรษวดี พงษ์ศิริและคณะ, 2558)

นอกจากนี้ยางพารายังมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม โดยเฉพาะด้านความแข็งแรงและความยืดหยุ่น ซึ่งยางสังเคราะห์ไม่สามารถเทียบได้ ดังนั้นยางธรรมชาติจึงเป็นวัสดุที่มักได้รับการนำไปใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานทางด้านวิศวกรรม นอกจากยางธรรมชาติจะมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นที่ดีแล้ว ยังมีคุณสมบัติด้านการยึดติดกับวัสดุอื่นได้ เช่น ผ้า ไม้ โลหะชนิดต่างๆ ในปัจจุบันจึงได้มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการยึดติดระหว่างยางกับโลหะชนิดต่างๆ กันอย่างกว้างขวาง (วิไลพร คงศรีรอด, 2552) ซึ่งยางนับเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมกับการออกแบบใช้งานร่วมกับโครงสร้าง Armature Animation ที่ประกอบด้วยโลหะอะลูมีเนียม ทองแดง ให้มีความเหมาะสมกับการศึกษา พัฒนาอุตสาหกรรมแอนิเมชั่นสืบต่อไป



ภาพตัวอย่างหุ่นโครงสร้าง Stop motion ที่ผู้วิจัยทำการออกแบบและจดสิทธิบัตรไว้
เป็นต้นแบบสำหรับพัฒนาผลงานฯต่อเนื่องในการวิจัยครั้งนี้

Click here to enter text.เครื่องมือกลไกของตัวละครรวมทั้งโครงสร้างของตัวหุ่นกลไกจะดีเยี่ยมสำเร็จลงตัว มีความสมบูรณ์อย่างแท้จริงได้นั้นเป็นไปไม่ได้เลยที่จะละเลย หรือข้ามข้อสำคัญและต้องทำความเข้าใจอย่างแท้จริงและควรเน้นย้ำในเรื่องกายวิภาคทั้งในโครงสร้างของคนและสิ่งมีชีวิตอื่นๆเพื่อออกแบบตัวละครที่เราจะสร้างสรรค์ขึ้น เช่นการสร้างเครื่องมือกลไกสำหรับตัวละครมังกร สำหรับบริษัทเหล็กแห่งหนึ่ง ต้องใช้เครื่องมือเกี่ยวกับการทำงานเหล็กที่มีความเฉพาะเจาะจงที่จะเอามาใช้สำหรับงานซึ่งจะต้องได้รับการสนับสนุนจากผู้เชี่ยวชาญและได้รับการฝึกฝนด้านการใช้เครื่องมือการทำงานเหล็ก (ซึ่งอาจนอกเหนือไปจากงานภาพเคลื่อนไหว)เพื่อเป็นที่ปรึกษาการทำงานเกี่ยวกับข้อต่อการหมุนของข้อต่อแบบมีลูกบอลเป็นแกนข้อมือข้อศอก การหมุนแขนทั้งหมดผู้เชี่ยวชาญที่ผ่านการทำงานในอุตสาหกรรมการทำเหล็กงานกลึงงานตัดซึ่งรอบรู้และมีประสบการณ์จะช่วยแก้ไขปรับปรุงงานให้ดีขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วซึ่งเป็นหนทางที่จะนำไปสู่ความสำเร็จกับการใช้งานและใช้งานในคุณสมบัติเฉพาะได้อย่างดีเพราะผู้เชี่ยวชาญเหล่านั้น ทั้งการทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพความถูกต้องความฉลาดรอบรู้การควบคุมค่าใช้จ่ายอย่างคุ้มค่าที่สุดแต่อย่างไรก็ตามเขาเหล่านี้ก็ไม่ใช่นักออกแบบภาพเคลื่อนไหว Stop Motion จึงไม่อาจแนะนำเรื่องกายวิภาค และการสร้างตัวละครที่ถูกต้องรวมทั้งการทำงานที่เป็นกล้ามเนื้อส่วนที่คลุมโครงสร้างที่เป็นกลไกจากการกล่าวถึง การหมุนและเคลื่อนที่ของข้อศอกจุดหมุนด้านหลังข้อศอกที่มากกว่าจุดหมุนข้อมือซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ต้องสร้างกลไกข้อต่อแบบมีลูกบอลขึ้นถ้ากลไกนี้เป็นรูปแบบที่ใช้งานกันมาก ในโครงสร้างหุ่นที่สามารถสร้างลักษณะ โค้งบิดงอ และเคลื่อนที่ของกล้ามเนื้อที่สร้างขึ้นจากโฟม (ซึ่งท้ายที่สุดจะคลุมตัวโครงสร้างกลไกหุ่นทั้งหมด) ซึ่งเป็นรูปแบบการสร้างงานแบบสมจริง

ข้อควรสังเกตุเรื่องทำอย่างไรที่โครงสร้างกลไกหุ่น (โครงกระดูก) จะพอดีและสัมพันธ์กับตัวละครที่ออกแบบ หรือตัวอื่นๆที่จะสร้างขึ้น ควรสังเกตุผลงาน จากข้อต่อที่เคลื่อนที่ การโค้งงอบิดตัวของกล้ามเนื้อจากโครงกระดูกที่สร้าง ระบบกลไกที่ใช้สำหรับโครงสร้างหุ่น (Armature) จะถูกควบคุมการทำงานด้วยรูปแบบทางกายวิภาคซึ่งจะสร้างลักษณะทางกายภาพและบุคคลิกภาพของตัวละคร (Character) ประเภทรูปแบบของระบบแขนขาที่คุณจะสร้างสรรค์ขึ้นคนม้าหรือสุนัขก่อนที่จะออกแบบตัวละครกับสร้างส่วนต่างๆของระบบกลไกคุณจะต้องศึกษาวิเคราะห์วิจัยให้เข้าใจในเรื่องสรีรวิทยาให้เข้าใจเพื่อตอบคำถามไขข้อสงสัยในเรื่องการออกแบบตัวละครของคุณด้วยการสเก็ตหรือร่างภาพตัวละครให้มากๆทำความเข้าใจมุมมองต่างๆสัดส่วน จนเกิดความชัดเจนแน่นอนข้อควรสนใจอีกเรื่องคือกล้ามเนื้อจะเปลี่ยนรูปร่างรูปทรง เวลาที่บิดงอและหมุนเพื่อความต่อเนื่องของแขนในการหมุนจำเป็นที่จะต้องทำให้จุดหมุนบริเวณข้อศอกหมุนไปด้านหลังด้วยเพื่อที่ว่า ทำให้โครงสร้างกลไกหุ่น สามารถบิดแขนได้ และโฟมลาเท็กซ์ (ยางชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ทำเป็นเนื้อหุ้มโครงสร้างกลไกหุ่น) จะต้องบิดงอได้ด้วยเหมือนกับกล้ามเนื้อ จริงๆของสิ่งมีชีวิต ถ้าคุณไม่ได้สร้างจุดหมุนที่บริเวณข้อศอกแต่สร้างการบิดของแขนบริเวณข้อมือ การเคลื่อนไหวจะทำให้เกิดการบิดที่แน่นมากบริเวณข้อมือซึ่งจะไม่เกิดขึ้นจริงในโลกแห่งความเป็นจริงหรือไม่เป็นธรรมชาติการออกแบบโครงสร้างกลไกตัวหุ่น (Armature) และข้อต่อของคุณจะต้องไม่มองข้ามหรือทิ้งหลักการ ทางกายวิภาคของสิ่งมีชีวิต เพื่อสร้างตัวละครของคุณไม่มีทางที่จะหลีกเลี่ยงวิธีอื่นๆ ได้แน่นอนว่าเป็นโอกาสที่ดีที่จะรวบรวมหนังสือที่เกี่ยวข้องด้านกายวิภาคที่คุณสามารถจะหาได้ ที่ได้มาทั้งกายวิภาคของมนุษย์หรือสัตว์สิ่งมีชีวิตต่างๆ (ที่มีโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อ) เป็นสิ่งที่ดีถ้าสามารถรวบรวมไว้อย่างครบถ้วนครบครันเพื่อที่จะใช้สำหรับการออกแบบสร้างสรรค์ตัวละครขึ้นมา ความสำเร็จของตัวละครที่ออกแบบขึ้นและโครงสร้างนั้นไม่อาจบอกได้เลยว่าเกิดขึ้นกำจัดอยู่เฉพาะประติมากรที่เชี่ยวชาญหรือชำนาญงานเพียงเท่านั้น แต่มันเกิดขึ้นได้อย่างดีก็ต่อเมื่อคุณได้ทำความเข้าใจเรื่องกายวิภาคและการเคลื่อนที่ เคลื่อนไหวอย่างถ่องแท้แล้วเท่านั้น การศึกษาตัวอย่างผลงานชิ้นยิ่งใหญ่จากประติมากรที่เชี่ยวชาญและเป็นที่ยอมรับระดับโลกเช่น ไมเคิล แองเจลโล่ หรือโรแดง ยกตัวอย่างผลงานของศิลปินเอกด้านประติมากรรมของทั้งคู่เพื่อเป็นกรณีศึกษา ความสำคัญของผลงานที่กระตุ้นความสนใจของผู้คน การแสดงถึงความแตกต่างทั้งแนวความคิด รูปแบบ วิธีการ และยุคสมัยที่ต่างกันของแต่ละคน การตัดสินใจที่จะสร้างผลงานศิลปะชิ้นเอกในแต่ละชิ้น (Tom Brierton. 2002)

ด้วยเหตุผลที่กล่าวข้างต้นคณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นที่จะการพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นฯที่ผู้วิจัยได้ดำเนินงานวิจัยเรื่องการออกแบบและพัฒนาโครงสร้าง Armature mechanic สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion และทำการจดสิทธิบัตรร่วมกับมหาวิทยาลัยนเรศวร สิทธิบัตรเลขที่ 1402002603 จากสรุปงานวิจัยเรื่องที่กล่าวขั้นต้น ผลงานออกแบบโดยรวมยังมีกระบวนการผลิตแบบทำด้วยมือเกือบทุกชิ้นส่วนและการประกอบรูปทรงเพื่อให้ผลงานการออกแบบสามารถผลิตได้ในระบบอุตสาหกรรมได้เพื่อพัฒนาวัสดุและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในระบบอุตสาหกรรม และสามารถประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น เมื่องานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยการเรียนในหลักสูตรและสาขาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแอนิเมชั่น สาขาเกี่ยวข้องออกแบบ

สรุป การพัฒนารูปแบบและออกแบบโครงสร้างตัวละครสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น จะสามารถช่วยส่งเสริม เป็นทางเลือกเพิ่มเติมสำหรับการเพิ่มมูลค่าของผลงานในอุตสาหกรรมการสร้างแอนิเมชั่นซึ่งเป็นภาระกิจหลักที่รัฐบาลส่งเสริมสนับสนันในแผนพัฒนาประเทศไทย 4.0 และจะสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ส่วนผสมของยางพาราซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติพื้นฐานในประเทศไทย มาสู่ผลิตภัณฑ์ประเภทเศรษฐกิจสร้างสรรค์ให้กับประเทศไทยสืบต่อไป

5. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบในทุกสาขาที่กำลังถูกส่งเสริมจากภาครัฐและเอกชนให้มีเอกลักษณ์ไทยในการออกแบบให้มากขึ้น เนื่องจากเห็นความสำคัญของความมั่นคง ความภาคภูมิใจ และการเป็นที่ยอมรับของนานาประเทศในแง่ของเศรษฐกิจ การเมือง และสังคม จึงต้องรีบสร้างและส่งเสริมให้เกิดเอกลักษณ์ที่เด่นชัดแตกต่างจากชาติอื่นๆ (ไพโรจน์ พิทยเมธี. 2551) แอนิเมชั่นเป็นส่วนหนึ่งในศาสตร์ด้านการออกแบบ และในกระบวนการผลิตภาพยนตร์แอนิเมชั่นมีขั้นตอนที่ทับซ้อนมากมายเพื่อให้ได้มาซึ่งภาพยนตร์แอนิเมชั่นที่มีความสมจริงเป็นธรรมชาติ และขั้นตอนทางเทคนิคมีบทบาทสำคัญช่วยทำให้ภาพยนตร์แอนิเมชั่นมีความสมจริงเพิ่มความน่าสนใจความตื่นเต้น และตอบสนองความนิยมของประชาชนโดยทั่วไป

ปัญหาและอุปสรรคของการผลิตภาพยนตร์แอนิเมชั่น ได้แก่ ปัญหาเรื่องทุนที่ต้องใช้ในการลงทุนสูง ปัญหาการขาดแคลนทีมงานที่มีทักษะความชำนาญ โดยเฉพาะแอนิเมชั่นแบบสามมิติขั้นตอนในกระบวนการผลิต เกือบทั้งหมด เป็นการทำงานลงบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การทำงานหลักจะเป็นการใช้คอมพิวเตอร์ในการทำงาน ทีมงานจึงต้องมีทักษะความชำนาญในการใช้โปรแกรมเหล่านั้น (พิมพ์พรพรหมมูล. 2551) ดังนั้นการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านแอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น ที่ทำการศึกษาวิจัยจะเป็นทางเลือกในการทำงานออกแบบภาพยนตร์แอนิเมชั่นอีกทางหนึ่ง

จากแนวความคิดที่ว่าเทคโนโลยีไม่ใช่แค่เครื่องมือง่ายๆ หรือ เป็นเพียงการนำเทคโนโลยีไปใช้ เพื่อถ่ายทอดเนื้อหาหรือความคิด แต่ว่าตัวเทคโนโลยีเองเป็นโครงสร้างหลักทางการทำงานและนอกจากนั้นยังสร้าง ความหมายวัฒนธรรมผ่านความเข้าใจที่หลากหลายของสื่อทางสายตา (visual) โดยการสังเกตุเรื่องราวจากคอมพิวเตอร์กราฟิกแอนิเมชั่นปัจจุบันในประเทศสหรัฐและญี่ปุ่น พบข้อขัดแย้งที่ว่า ในเนื้อหาความแตกต่างของ วัฒนธรรมทางสังคม คอมพิวเตอร์แอนิเมชั่นต้องการความหมาย ทางวัฒนธรรม สไตล์ของ ตัวมันเอง และการสร้างสุนทรีย์ทางความงามเฉพาะทางในแต่ละ สังคมนั้นๆ (Lien Fan Shen, 2007) จึงเห็นได้ว่าเครื่องมือที่จะพัฒนาเทคนิคการสร้างแอนิเมชั่นนั้น ต้องส่งเสริมทั้งด้านสุนทรียภาพทางศิลปะ ด้านเทคโนโลยีกระบวนการสื่อแอนิเมชั่น ที่สื่อสารเรื่องราวทางสังคมศิลปวัฒนธรรม ได้เป็นอย่างดีและเหมาะสม

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพาราแปรรูปเบื้องต้นอันดับหนึ่งของโลก จึงมีวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตภัณฑ์ยางที่เป็นสินค้าอุตสาหกรรมที่อุดมสมบูรณ์ ในช่วงเวลาที่ผ่านมาผลิตภัณฑ์ยางแม้มีการขยายตัวในการผลิตและส่งออกอย่างต่อเนื่อง แต่สัดส่วนการใช้ยางที่ผลิตได้ใน

ประเทศมาผลิตเป็นสินค้าอุตสาหกรรมยังอยู่ในระดับต่ำ แม้ประเทศไทยจะสามารถขยายการเพาะปลูกยางพาราได้มากและครองความเป็นผู้นำในการผลิตและส่งออกในยางแปรรูปขั้นต้นในปัจจุบัน แต่เนื่องจากประเทศต่างๆ เช่น จีน อินเดียและประเทศเพื่อนบ้านของไทย ต่างมีการส่งเสริมการเพาะปลูกยางพารามากขึ้น ผลผลิตยางพาราธรรมชาติในโลกจึงน่าจะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต ประเทศไทยจะเผชิญกับการแข่งขันที่รุนแรงขึ้นในผลิตภัณฑ์ยางแปรรูปขั้นต้น นอกจากนี้ ในเวลาที่ผ่านมา ราคายางพาราในตลาดโลกก็มีความผันผวนซึ่งส่งผลกระทบต่อรายได้ของชาวสวนยาง การส่งเสริมการนำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นสินค้าอุตสาหกรรม จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะเพิ่มการใช้ยางพาราที่ผลิตได้ในประเทศ และลดการพึ่งพาตลาดต่างประเทศในผลิตภัณฑ์ยางแปรรูปขั้นต้นได้ การผลิตสินค้าแปรรูปสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางพาราได้มากกว่าการส่งออกในรูปวัตถุดิบแปรรูปขั้นต้นเป็นอย่างมาก ดังนั้นไทยควรปรับเปลี่ยนแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพาราจากประเทศที่ผลิตมากได้น้อย (More for Less) ไปสู่ผลิตมากได้มาก (More for more) โดยยกระดับจากการเป็นผู้ผลิตยางพาราอันดับหนึ่งของโลกไปสู่ศูนย์กลางของโลกด้านผลิตภัณฑ์ยาง (World Center of Rubber Products) เพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันโดยต้องเป็นฐานการผลิตอย่างครบวงจรของผลิตภัณฑ์จากยางพาราและต้องเป็นผู้นำในการสร้างนวัตกรรมจากยางพาราเพื่อเพิ่มมูลค่ายางของประเทศ (พรรษวดี พงษ์ศิริและคณะ, 2558)

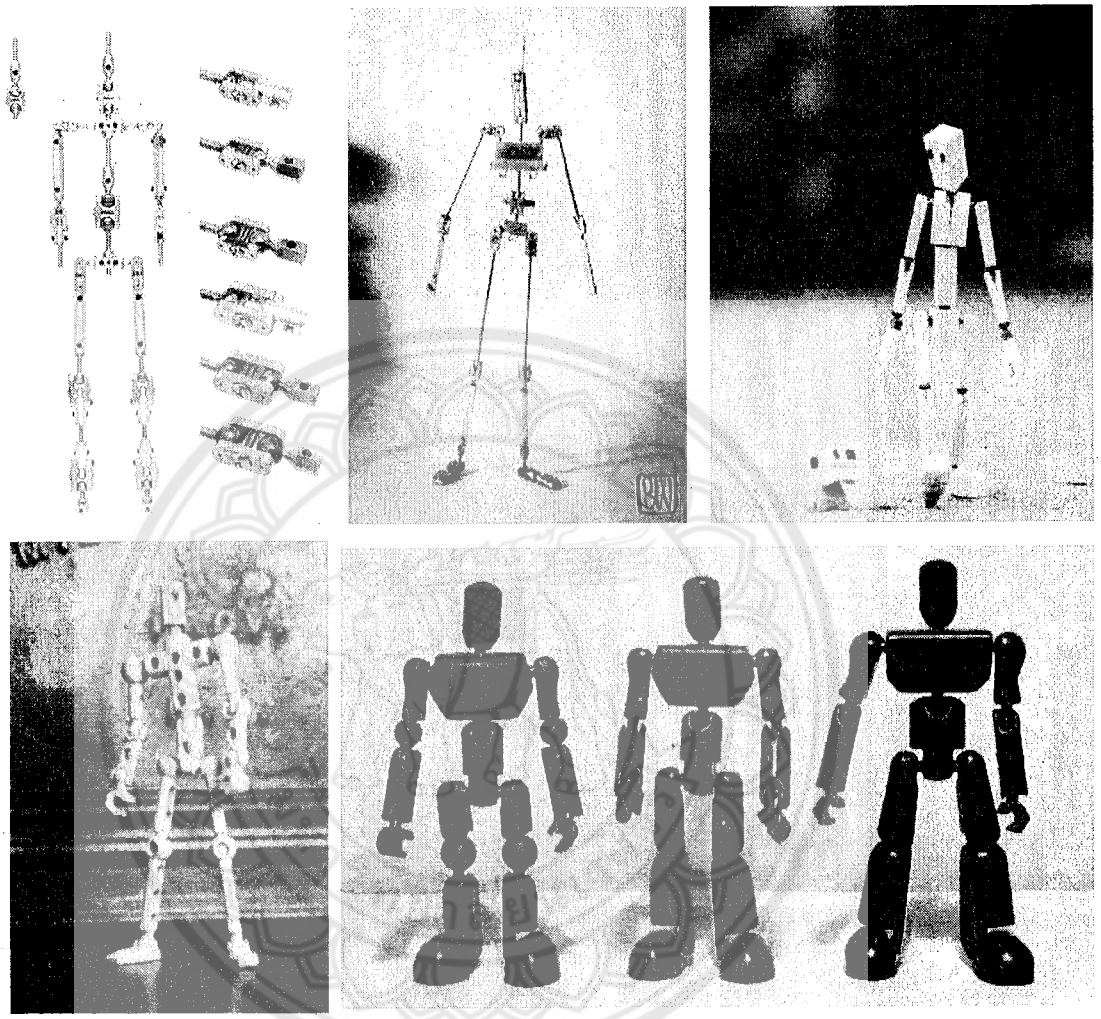
นอกจากนี้ยางพารายังมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม โดยเฉพาะด้านความแข็งแรงและความยืดหยุ่น ซึ่งยางสังเคราะห์ไม่สามารถเทียบได้ ดังนั้นยางธรรมชาติจึงเป็นวัสดุที่มักได้รับการนำไปใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานทางด้านวิศวกรรม นอกจากยางธรรมชาติจะมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นที่ดีแล้ว ยังมีคุณสมบัติด้านการยึดติดกับวัสดุอื่นได้ เช่น ผ้า ไม้ โลหะชนิดต่างๆ ในปัจจุบันจึงได้มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการยึดติดระหว่างยางกับโลหะชนิดต่างๆ กันอย่างกว้างขวาง (วิไลพร คงศรีรอด, 2552) ซึ่งยางนับเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมกับการออกแบบใช้งานร่วมกับโครงสร้าง Armature Animation ที่ประกอบด้วยโลหะอะลูมีเนียม ทองแดง ให้มีความเหมาะสมกับการศึกษาพัฒนาอุตสาหกรรมแอนิเมชั่นสืบต่อไป

เครื่องมือกลไกของตัวละครรวมทั้งโครงสร้างของตัวหุ่นกลไกจะดีเยี่ยมสำเร็จลงตัวมีความสมบูรณ์อย่างแท้จริงได้นั้นเป็นไปไม่ได้เลยที่จะละเลย หรือข้ามข้อสำคัญและต้องทำความเข้าใจอย่างแท้จริงและควรเน้นย้ำในเรื่องกายวิภาคทั้งในโครงสร้างของคนและสิ่งมีชีวิตอื่นๆเพื่อออกแบบตัวละครที่เราจะสร้างสรรค์ขึ้น เช่นการสร้างเครื่องมือกลไกสำหรับตัวละครมังกร สำหรับบริษัทเหล็กแห่งหนึ่งต้องใช้เครื่องมือเกี่ยวกับการทำงานเหล็กที่มีความเฉพาะเจาะจงที่จะเอามาใช้สำหรับงานซึ่งจะต้องได้รับการสนับสนุนจากผู้เชี่ยวชาญและได้รับการฝึกฝนด้านการใช้เครื่องมือการทำงานเหล็ก (ซึ่งอาจนอกเหนือไปจากงานภาพเคลื่อนไหว)เพื่อเป็นที่ปรึกษาการทำงานเกี่ยวกับข้อต่อการหมุนของข้อต่อแบบมีลูกบอลเป็นแกนข้อมือข้อศอก การหมุนแขนทั้งหมดผู้เชี่ยวชาญที่ผ่านการทำงานในอุตสาหกรรมการทำเหล็กงานกลึงงานตัดซึ่งรอบรู้และมีประสบการณ์จะช่วยแก้ไขปรับปรุงงานให้ดีขึ้นอย่างมี

ประสิทธิภาพและรวดเร็วซึ่งเป็นหนทางที่จะนำไปสู่ความสำเร็จกับการใช้งานและใช้งานในคุณสมบัติเฉพาะได้อย่างดีเพราะผู้เชี่ยวชาญเหล่านั้น ทั้งการทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพความถูกต้อง ความฉลาดรอบรู้การควบคุมค่าใช้จ่ายอย่างคุ้มค่าที่สุดแต่อย่างไรก็ตามเขาเหล่านี้ก็ไม่ใช่นักออกแบบภาพเคลื่อนไหว Stop Motion จึงไม่อาจแนะนำเรื่องกายวิภาค และการสร้างตัวละครที่ถูกต้องรวมทั้งการทำงานที่เป็นกล้ามเนื้อส่วนที่คลุมโครงสร้างที่เป็นกลไกจากการกล่าวถึง การหมุนและเคลื่อนที่ของข้อศอกจุดหมุนด้านหลังข้อศอกที่มากกว่าจุดหมุนข้อมือซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ต้องสร้างกลไกข้อต่อแบบมีลูกบอลขึ้นถ้ากลไกนี้เป็นรูปแบบที่ใช้งานกันมาก ในโครงสร้างหุ่นที่สามารถสร้างลักษณะ โค้งบิด งอ และเคลื่อนที่ของกล้ามเนื้อที่สร้างขึ้นจากโฟม (ซึ่งท้ายที่สุดจะคลุมตัวโครงสร้างกลไกหุ่นทั้งหมด) ซึ่งเป็นรูปแบบการสร้างงานแบบสมจริง

ข้อควรสังเกตุเรื่องทำอย่างไรที่โครงสร้างกลไกหุ่น (โครงกระดูก) จะพอดีและสัมพันธ์กับตัวละครที่ออกแบบ หรือตัวอื่นๆที่จะสร้างขึ้น ควรสังเกตุผลงาน จากข้อต่อที่เคลื่อนที่ การโค้งงอบิดตัวของกล้ามเนื้อจากโครงกระดูกที่สร้าง ระบบกลไกที่ใช้สำหรับโครงสร้างหุ่น (Armature) จะถูกควบคุมการทำงานด้วยรูปแบบทางกายวิภาคซึ่งจะสร้างลักษณะทางกายภาพและบุคคลิกภาพของตัวละคร (Character) ประเภทรูปแบบของระบบแขนขาที่คุณจะสร้างสรรค์ขึ้นคนม้าหรือสุนัขก่อนที่จะออกแบบตัวละครกับสร้างส่วนต่างๆของระบบกลไกคุณจะต้องศึกษาวิเคราะห์วิจัยให้เข้าใจในเรื่องสรีรวิทยาให้เข้าใจเพื่อตอบคำถามไขข้อสงสัยในเรื่องการออกแบบตัวละครของคุณด้วยการสเก็ตหรือร่างภาพตัวละครให้มากๆทำความเข้าใจมุมมองต่างๆสัดส่วน จนเกิดความชัดเจนแน่นอนข้อควรสนใจอีกเรื่องคือกล้ามเนื้อจะเปลี่ยนรูปร่างรูปทรง เวลาที่บิดงอและหมุนเพื่อความต่อเนื่องของแขนในการหมุนจำเป็นที่จะต้องทำให้จุดหมุนบริเวณข้อศอกหมุนไปด้านหลังด้วย เพื่อที่ว่า ทำให้โครงสร้างกลไกหุ่น สามารถบิดแขนได้ และโฟมลาเท็กซ์ (ยางชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ทำเป็นเนื้อหุ้มโครงสร้างกลไกหุ่น) จะต้องบิดงอได้ด้วยเหมือนกับกล้ามเนื้อ จริงๆของสิ่งมีชีวิต ถ้าคุณไม่ได้สร้างจุดหมุนที่บริเวณข้อศอกแต่สร้างการบิดของแขนบริเวณข้อมือ การเคลื่อนไหวจะทำให้เกิดการบิดที่แน่นมากบริเวณข้อมือซึ่งจะไม่เกิดขึ้นจริงในโลกแห่งความเป็นจริงหรือไม่เป็นธรรมชาติการออกแบบโครงสร้างกลไกตัวหุ่น (Armature) และข้อต่อของคุณจะต้องไม่มองข้ามหรือทิ้งหลักการ ทางกายวิภาคของสิ่งมีชีวิต เพื่อสร้างตัวละครของคุณไม่มีทางที่จะหลีกเลี่ยงวิธีอื่นๆ ได้แน่นอนว่าเป็นโอกาสที่ดีที่จะรวบรวมหนังสือที่เกี่ยวข้องด้านกายวิภาคที่คุณสามารถจะหาได้ ที่ได้มาทั้งกายวิภาคของมนุษย์หรือสัตว์สิ่งมีชีวิตต่างๆ (ที่มีโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อ) เป็นสิ่งที่ดีถ้าสามารถรวบรวมไว้อย่างครบถ้วนครบครันเพื่อที่จะใช้สำหรับการออกแบบสร้างสรรค์ตัวละครขึ้นมา ความสำเร็จของตัวละครที่ออกแบบขึ้นและโครงสร้างนั้นไม่อาจบอกได้เลยว่าเกิดขึ้นกำจัดอยู่เฉพาะประติมากรที่เชี่ยวชาญหรือชำนาญงานเพียงเท่านั้น แต่มันเกิดขึ้นได้อย่างดีก็ต่อเมื่อคุณได้ทำความเข้าใจเรื่องกายวิภาคและการเคลื่อนที่ เคลื่อนไหวอย่างถ่องแท้แล้วเท่านั้น การศึกษาตัวอย่างผลงานชิ้นยิ่งใหญ่จากประติมากรที่เชี่ยวชาญและเป็นที่ยอมรับระดับโลกเช่น ไมเคิล แองเจลโล่ หรือโรแดง ผู้แต่งได้ยกตัวอย่างผลงานของศิลปินเอกด้านประติมากรรมของทั้งคู่เพื่อเป็น

กรณีศึกษา ความสำคัญของผลงานที่กรตุ้นความสนใจของผู้คน การแสดงถึงความแตกต่างทั้งแนวความคิด รูปแบบ วิธีการ และยุคสมัยที่ต่างกันของแต่ละคน การตัดสินใจที่จะสร้างผลงานศิลปะชิ้นเอกในแต่ละชิ้น (Tom Brierton. 2002)



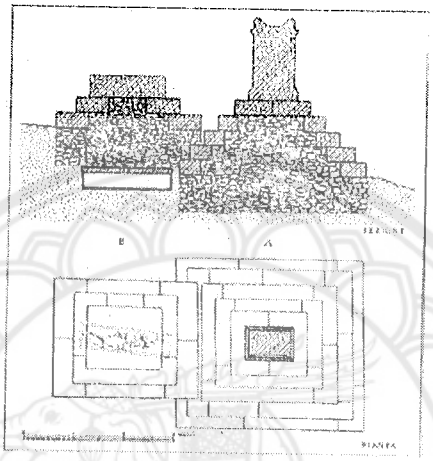
ภาพตัวอย่างการใช้วัสดุต่างๆ ผสมผสานสำหรับออกแบบโครงสร้างตัวละครแอนิเมชั่นสต็อปโมชั่น
ที่มา https://www.pinterest.com/

ส่วนประกอบด้านนอกของตัวละคร Stop-motion เสื้อผ้าที่สวมอยู่บนร่างกายตัวละครแอนิเมชั่นต้องการการใส่รายละเอียดตั้งแต่ขั้นตอนการปั้น และการปรับแต่งรูปร่างตัวละคร ตั้งแต่รูปทรงภายนอก ที่ต้องประกอบเข้ากับโครงสร้างกระดูก Armature ได้อย่างดี ไม่ว่าจะถูกสร้างขึ้นด้วยเรซิ่น ไม้บาล์ซ่า ให้เติมเต็มรูปร่างอย่างสมบูรณ์พร้อมจะทำการแสดงการเคลื่อนไหวจัดท่าทางได้ ในส่วนของผิว ขึ้นอยู่กับงบประมาณที่ต้องใช้ในภาพยนต์แอนิเมชั่นแต่ละเรื่อง ยางลาเท็กซ์ (Latex) เป็นวัสดุพื้นฐานที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานร่วมกับตัวโครงสร้างกระดูกของตัวละครแอนิเมชั่นได้ ด้วย

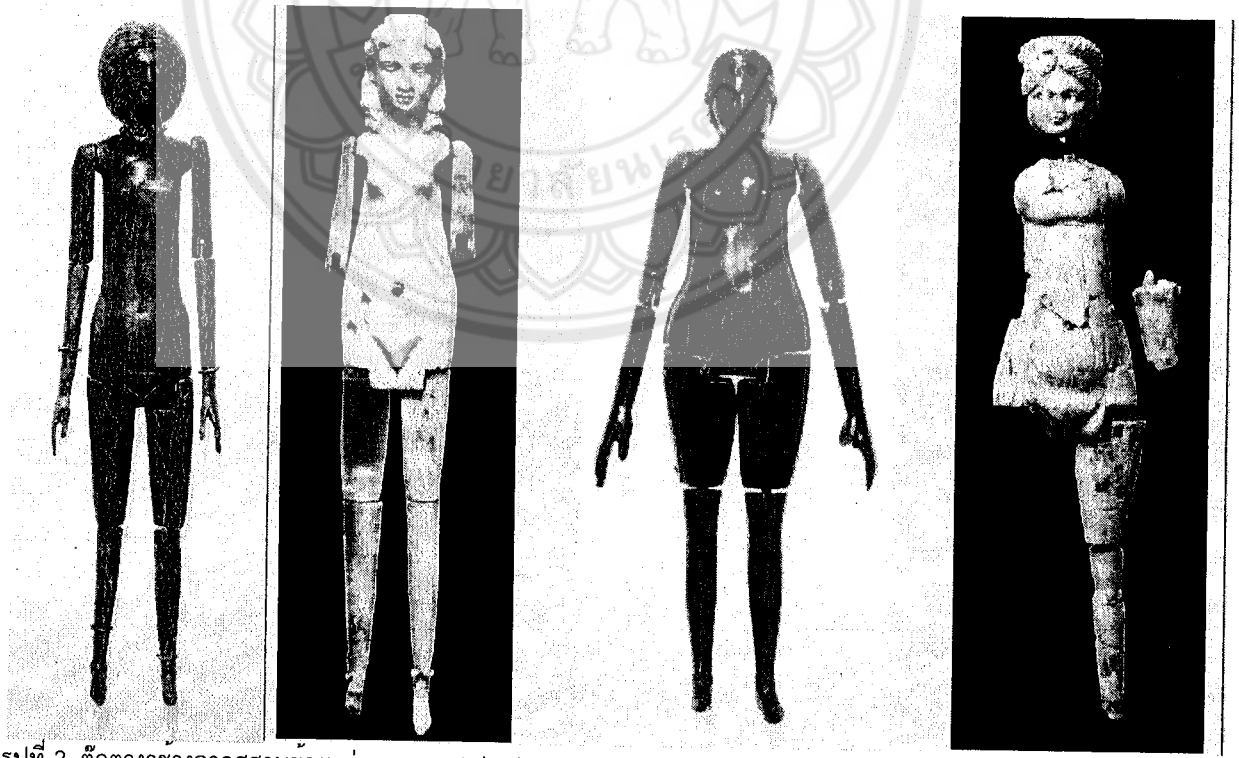
บทที่2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ประกอบกอบไปด้วยข้อมูล ผลงานและการวิเคราะห์ผลงานการศึกษาต่างๆ ส่วนแรกการวิเคราะห์หุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion

1. **ตุ๊กตางาช้าง** พบสุสานใต้ดินติดกับแท่นบูชาของ Cossinia vestal ที่ Palazzo di Giustizia แห่งกรุงโรม ปี 1889 ตรงกับปี พ.ศ. 2432



รูปที่ 1. สำรวจพื้นที่ค้นพบสถาปนิก Italo Gismondi จาก "ข่าวการขุดค้น" พ.ศ. 2473 หน้า 362 การวิเคราะห์โครงสร้าง



รูปที่ 2. ตุ๊กตางาช้างจากสุสานข้างแท่นบูชา vestale Cossinia, Tivoli.Palazzo Massimo alla Terme, กรุงโรม. Francesca Boldrighini.2017 หน้า 83

ข้อมูลเบื้องต้น

ตุ๊กตาจากกระดูกและงาช้างเป็นที่รู้จักกันในโลกโบราณโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากหลุมฝังศพของยุคกลางและปลายยุคจักรวรรดิ แห่งกรุงโรม มักจะพบได้เสมอในหลุมฝังศพของหญิงสาวที่ยังไม่ได้แต่งงานและเด็กผู้หญิง ซึ่งมักจะถูกวางไว้ข้างๆหัวของผู้ตาย

นอกเหนือจากการใช้เป็นของเล่น ตุ๊กตาเหล่านี้ยังมีหน้าที่ทางสัญลักษณ์และศาสนา เช่นเดียวกับที่นักโบราณคดีได้กล่าวไว้ว่า ตุ๊กตาเหล่านี้มักจะเป็นตัวแทนของวีนัส เพื่อเรียกร้องการปกป้องและแสวงหาโอกาสในการแต่งงาน เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นของชีวิตผู้ใหญ่

ตุ๊กตางาช้างมีลักษณะที่เรียบง่ายซึ่งร่างกายเกือบแบนและบ่งชี้ทางสรีรวิทยาของคนในยุคนั้น ซึ่งมีความสำคัญมาก ในกลุ่มของตุ๊กตางาช้างที่ทำงานด้วยความสง่างามด้วยร่างกายที่แสดงในลักษณะที่เป็นธรรมชาติ แม้กระทั่งในลักษณะของใบหน้าและในที่ซับซ้อน ทรงผมซึ่งทันสมัยในช่วงเวลานั้น ถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการออกเดท ซากของเสื้อผ้าและเครื่องประดับ บ่งบอกว่าพวกเขาได้ตกแต่งมันอย่างสวยงาม

การวิเคราะห์โครงสร้าง

1.1.ลักษณะและพื้นผิว

พื้นผิวทำมาจากงานช้างแกะสลักมีการใช้เครื่องประดับตกแต่งให้กับตุ๊กตา ทรงผมของตุ๊กตางาช้างมีลักษณะมาจากทรงผมของยุคเซเวอเรียนตอนต้น

1.2.ส่วนหัว

ใบหน้าของตุ๊กตาเป็นเพศหญิง ส่วนหัวติดกับลำตัวไม่สามารถหมุนหรือเปลี่ยนแปลงหน้าตาได้ มีสร้อยคอเครื่องประดับตกแต่งให้มีความสวยงาม

1.3.ส่วนลำตัว

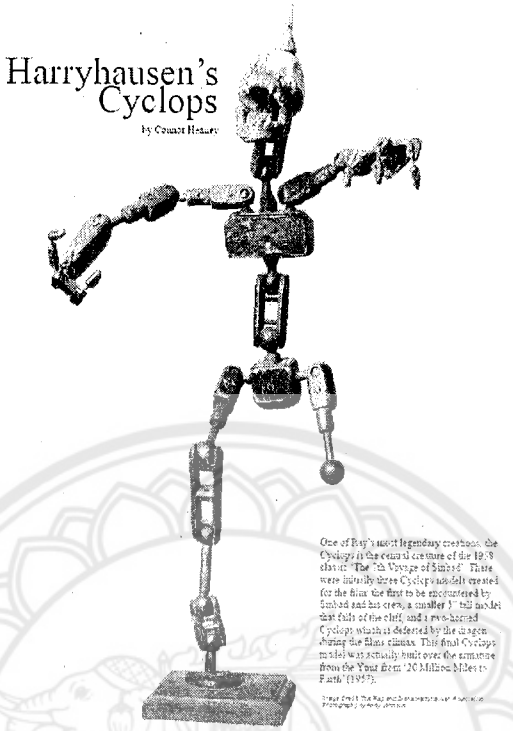
ส่วนลำตัวมีการแกะสลักรูปทรงคล้ายหญิงสาววัยรุ่น ลำตัวยาว ไม่มีรอยต่อระหว่างลำตัวทำให้ไม่สามารถโค้งงอได้ มีการแกะสลักษณะสัญลักษณ์ทางเพศชัดเจน

1.4.ส่วนแขนและขา

ส่วนแขนท่อนบน มีการแยกออกจากลำตัวชัดเจน จากหัวไหล่ สามารถหมุนได้ในทิศทางไปข้างหน้า-หลัง 360 องศา ไม่สามารถกางแขนไปด้านข้างได้ ส่วนแขนท่อนล่าง มีรอยต่อจากศอกเพื่อให้งอไปข้างหน้าและหลังได้ 180 องศา บริเวณข้อมือติดกับแขนท่อนล่าง ไม่สามารถขยับหมุนไปมาได้

ส่วนขาท่อนบน มีรอยต่อจากลำตัว ไม่สามารถหมุนไปทิศทางใดได้ สังเกตได้จากการตัดต่อเพื่อให้ประกบกันได้ตรงกับลำตัวส่วนขาท่อนล่าง มีรอยต่อตรงตำแหน่งด้านบนของเข่า ไม่สามารถงอเข่าได้ ทำได้เพียงหมุนรอบตัวเอง 360 องศา เท่านั้น ข้อเท้าและปลายเท้าติดกับขาท่อนล่าง มีลักษณะเล็กและมีปลายแหลม มีเครื่องประดับบริเวณข้อเท้า

2. หุ่น Cyclops ของ Ray Harryhausen ปี 1957 ตรงกับปี พ.ศ. 2500

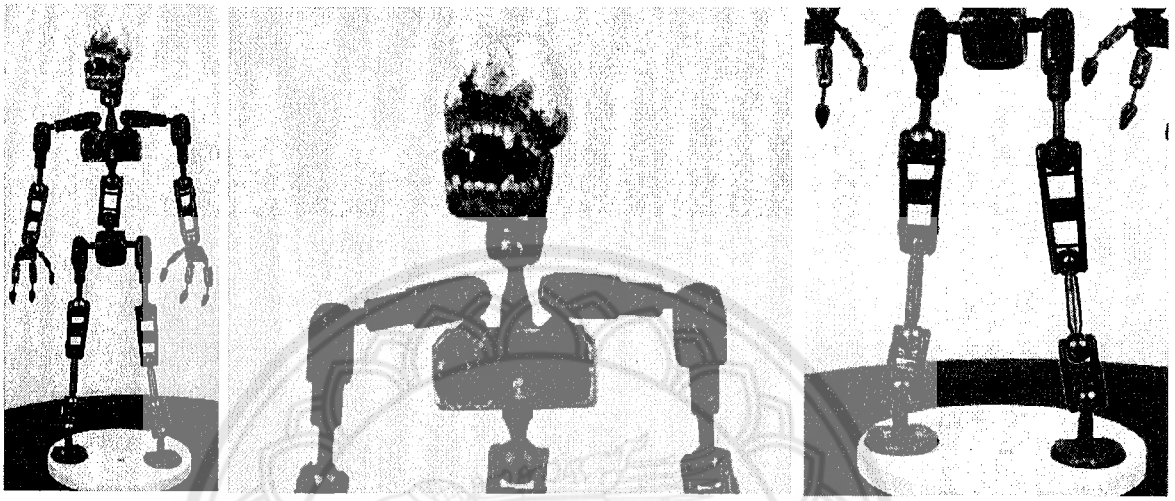


รูปที่ 2.3 เครดิตภาพ: มูลนิธิ Ray และ Diana Harryhausen ถ่ายรูปโดย Andy Johnson

รูปที่ 2.4 The 7th Voyage of Sinbad - Magic Barrier SonyPicturesDVD Published on Nov 5, 2008
https://www.youtube.com/watch?v=rCYfrAPEz38

ข้อมูลเบื้องต้น

โครง Armature ของหุ่น Cyclop เป็นหนึ่งในชิ้นส่วนแห่งประวัติศาสตร์ภาพยนตร์แนว แฟนตาซี ในยุคเก่า ซึ่งสร้างด้วยเทคนิค สต็อปโมชั่น ผสมผสานกับการถ่ายทำภาพยนตร์ร่วมกับคนแสดง โดยบุคคลที่มีชื่อเสียงในด้าน visual Effect ในครั้งนั้น คือ Ray Harryhausen



รูปที่ 2.5 The Ray and Diana Harryhausen Foundation.Stop motion magazine. หน้า 68

การวิเคราะห์โครงสร้าง

2.1.ลักษณะและพื้นผิว

โครงหุ่น Amature ทำจากเหล็กบัดกรี และข้อต่อส่วนต่างๆของร่างกายประกอบด้วยลูกเหล็กกลมๆ หลายขนาด และหมุดเหล็กช่วยในการยึด ชิ้นส่วนขาข้างหนึ่งของหุ่นหายไป เนื่องจากการสับเปลี่ยนเพื่อการถ่ายทำ อย่างไรก็ตามในปี 2014 ขาใหม่ถูกสร้างขึ้นโดย studio MacKinnon & Saunders- ชิ้นส่วนได้รับการออกแบบให้เป็นแบบจำลองที่มั่นคง แทนส่วนที่ขาดหายไป รูปแบบขาและเท้าที่ค้นพบใหม่นี้ ส่วนประกอบข้อต่อขาใหม่ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลึงเหล็กอ่อน, แถบเหล็กสีเงิน ลูกเหล็กสแตนเลสบัดกรี ขาสำรองนี้ได้รับการติดตั้งโดยผู้ดูแลมูลนิธิอย่างเป็นทางการ Alan Friswell และเปิดตัวที่นิทรรศการ 'Mythical Menagerie' ที่พิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์โอคลาโฮมาในปี 2016 นี่เป็นงานนิทรรศการครั้งแรกของเรย์ ในสหรัฐอเมริกาตั้งแต่เขาเสียชีวิตลงในปี 2013 และได้รับการต้อนรับที่ยอดเยี่ยมจากแฟน ๆ ชาวอเมริกันของเรย์ มูลนิธิมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาแบบจำลองดั้งเดิมของเรย์เท่าที่จะทำได้ตามความปรารถนาของเขาและดังนั้นจึงไม่มีความพยายามทำเพื่อปกปิดความจริงที่ว่านี่คือขาทดแทน

2.2.ส่วนหัว

ส่วนหัวสร้างขึ้นจากเรซิ่น ตกแต่งคล้ายโครงกระดูกของสิ่งมีชีวิตตาเดียว กรามล่างและลิ้นสามารถขยับได้

2.3.ส่วนลำตัว

ส่วนของลำตัวมีทั้งหมด 3 ชิ้น สามารถบิดโค้งงอได้คล้ายการเคลื่อนไหวของมนุษย์

ชิ้นที่ 1 ลำตัวช่วงบน คือส่วนของกระดูกคอ ลงมาถึง ช่วงอกมีลักษระเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า คล้ายกับโครงกระดูกอกของมนุษย์

ชิ้นที่ 2 ลำตัวช่วงกลาง คือส่วนช่วงท้อง มีความยาวคล้ายกระดูกสันหลัง เป็นเบ้ารองรับลูกเหล็กกลมๆ ของช่วงบนและช่วงล่าง

ชิ้นที่ 3 ลำตัวช่วงล่าง มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋า แทนกระดูกเชิงกรานของมนุษย์ มีแกนเหล็กกลมๆยื่นออกไป 3 ด้าน ได้แก่ด้านบน เชื่อมต่อกับเบ้าของลำตัวช่วงกลาง ด้านข้างทั้ง 2 ด้านกางออก แทนกระดูกสะโพก มีแกนเหล็กกลมๆเพื่อเชื่อมต่อกับขา

2.4.ส่วนแขนและขา

แขน แบ่งออกเป็น 4 ส่วน เริ่มตั้งแต่กระดูกไหปลาร้า ไปถึงฝ่ามือ ได้แก่

ชิ้นที่ 1 ส่วนของไหปลาร้า และไหล่ มีรอยต่อเริ่มจากลำตัวท่อนบน ขนานกับพื้น สามารถยักไหล่ขึ้น-ลง และหน้า-หลังได้

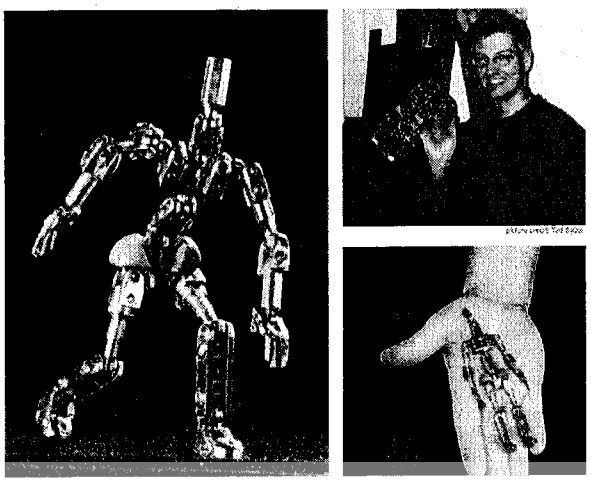
ชิ้นที่ 2 ส่วนแขนท่อนบน ด้านบนเป็นเบ้ารองรับเหล็กกลมจากไหล่ และท่อนล่างเป็นเหล็กกลม แทนข้อศอก

ชิ้นที่ 3 แขนท่อนล่าง มีลักษณะเป็นเบ้ารองรับทั้งแขนท่อนบนและข้อมือ สามารถหมุนได้อย่างอิสระทุกทิศทาง เนื่องจากโครงกระดูกแขนท่อนล่างของมนุษย์ ประกอบด้วยกระดูกชิ้นใหญ่ๆ ที่สามารถบิดแขนและข้อมือได้นั่นเอง

ชิ้นที่ 4 ข้อมือ มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กแบนๆ มีลูกเหล็กกลมเชื่อมกับแขนท่อนล่าง สามารถหมุนไปมาได้ทุกทิศทาง มีนิ้วมือ 3 นิ้ว และทุกนิ้วประกอบด้วยเหล็กกลมขนาดเล็ก และเบ้าเหล็ก ปลายนิ้วแหลม

ขา มีลักษณะของโครงกระดูกสัตว์เท่ากีบ เนื่องจากเป็นโครงกระดูกของสัตว์ประหลาดในภาพยนตร์ มีทั้งหมด 5 ชิ้น ไม่มีปลายเท้า สามารถดัดให้งอตามลักษณะของสัตว์เท้ากีบได้

3. โครงหุ่น Armature ของ TED SYDOR

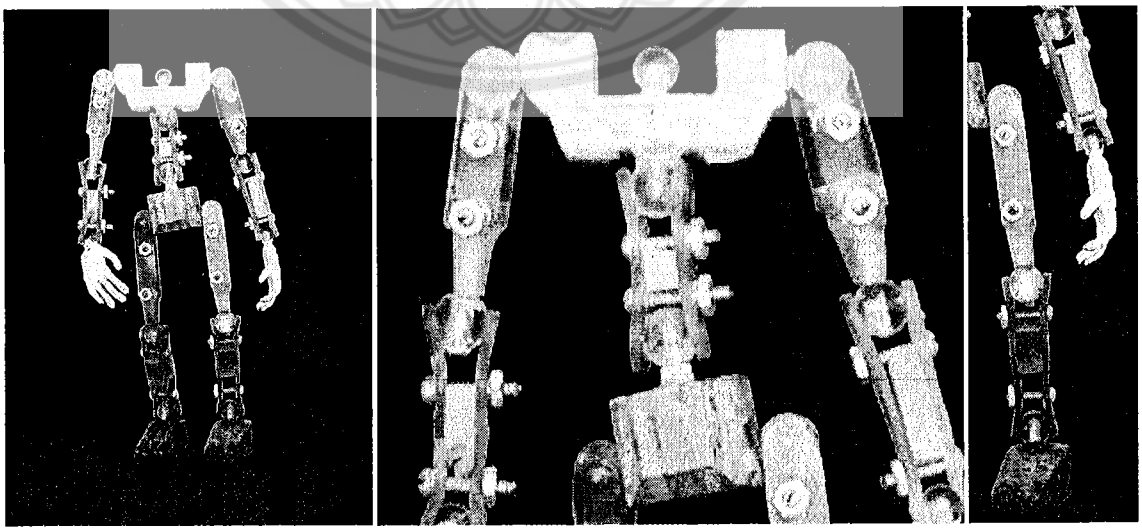


รูปที่ 2.6. picture credit: Ted Sydor Stop motion magazine. หน้า 6

ข้อมูลเบื้องต้น TED SYDOR เป็นผู้มีทักษะในการผลิต โครงหุ่น Armature ที่ยอดเยี่ยมและมีรูปลักษณ์สง่างาม TED ได้รับการศึกษาด้านปติมากรรม จาก Middlesex County College, นิวเจอร์ซีย์ในปี 1991 ที่นั่นเองคือจุดเริ่มต้นของการทดลองทำโครงหุ่น Armature เพื่องานแอนิเมชั่นสต็อปโมชั่นของเขา และความรู้นี้ได้ส่งผลให้เขาออกแบบและสร้างชิ้นส่วน Armature ของสต็อปโมชั่น อีกหลายเรื่อง รวมไปถึงผลงานในพิพิธภัณฑ์หรือแกลเลอรีหลายแห่ง

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ผลงานผลิตโครง Armature ของ Ted มาจากโรงงานเล็กๆของเขา ชื่อ Trik Film Effects ซึ่งมีหลากหลายชนิดโดยจำแนกตามลักษณะโครงสร้างของตัวละคร ดังนี้



รูปที่ 2.7. ภาพโดย: Ted Sydor http://trikfx.com/armatures.1991

1049820

สำนักหอสมุด
21 มี.ค. 2565

3.1.Armature ชิ้นแรกของเขา ที่ผลิตในรั้วมหาวิทยาลัย Middlesex County College, นิวเจอร์ซีย์ ปี 1991 เป็นจุดเริ่มต้นของการทำArmature ของเขาในปีต่อมา

3.1.1. **ลักษณะและพื้นผิว** ผลิตจาก พลาสติก และไม้ สูงประมาณ 10 นิ้ว ใช้น็อตในการยึดชิ้นส่วนเข้าหากัน มีการใช้พลาสติกชนิดหัวบอล แทนจุดหมุนตามข้อต่อต่างๆของร่างกาย

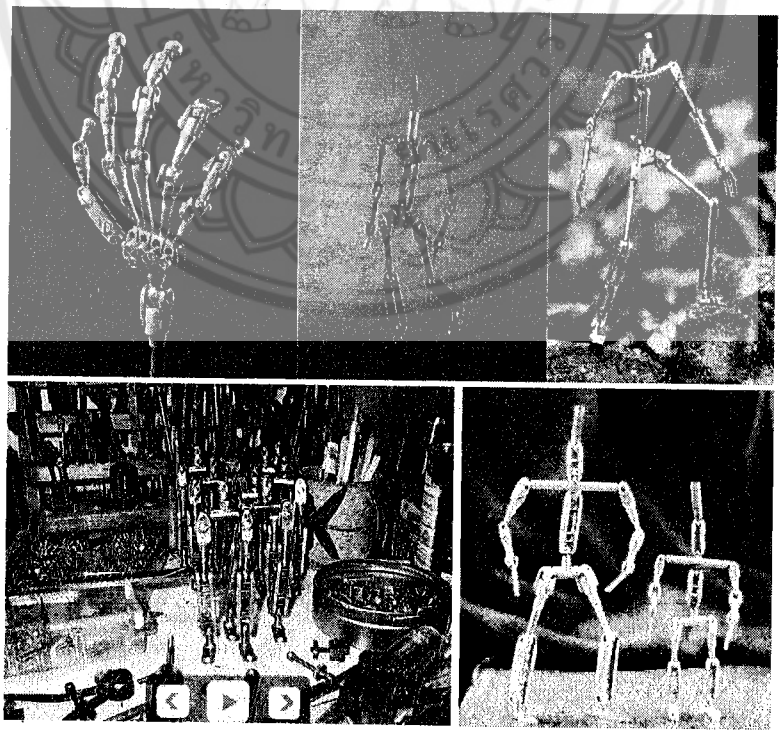
3.1.2. **ส่วนหัว** ไม่ปรากฏส่วนหัวที่เป็นโครงสร้างของหุ่น

3.1.3. **ส่วนลำตัว** ช่วงอกและเชิงกรานทำจากไม้และติดด้วยพลาสติกทรงกลม กลางลำตัวมีเบ้าพลาสติก 2 ชิ้นประกบกันถูกยึดด้วยน็อต 2 ตัว ตรงกลางมีไม้สี่เหลี่ยมลูกเต๋าเป็นตัวกั้นพลาสติกไม่ให้โค้งงอ แต่ทำได้ไม่ดีนัก เนื่องจากแผ่นพลาสติกมีการยืดและหดตัว

3.1.4. **ส่วนแขนและขา** แขนและขาท่อนบน เป็นพลาสติกที่มีปลายด้านหนึ่งเป็นหัวบอล แขนและขาท่อนล่างมีลักษณะคล้ายลำตัวส่วนกลาง มีเบ้าพลาสติก 2 ชิ้นประกบกัน ถูกยึดด้วยน็อต 2 ตัว ตรงกลางมีไม้สี่เหลี่ยมลูกเต๋าเป็นตัวกั้นพลาสติกไม่ให้โค้งงอ ปลายเท้า ทำจากไม้แกะสลัก และมือทำจากลวด

3.2. Armature จากบริษัท Trik Film Effects ของเขา ซึ่งได้พัฒนาโครงสร้างขึ้นจากเหล็ก การกลึงและการเจาะ ส่วนต่างๆของข้อต่อ มีเหล็กหัวบอล เป็นตัวยึดและหมุน

3.2.1. สัดส่วนของ Armature ทำด้วยเหล็กและทองเหลือง เป็นงานที่ปราณีตในทุกสัดส่วนของโครงสร้าง เขาจะทำตามแบบที่ผู้สร้างภาพยนตร์กำหนด ซึ่งการทำด้วยเหล็กสามารถผลิตชิ้นส่วนได้เป็นจำนวนมาก



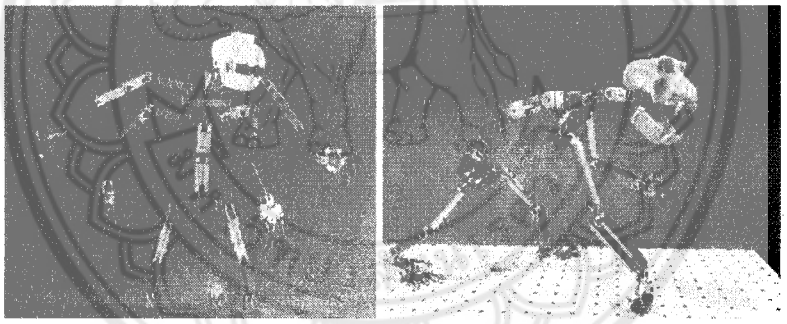
รูปที่ 2.8 ผลงานของบริษัท **Trik Film Effects.** ภาพโดย: Ted Sydor http://trikfx.com/armatures.

4. **โครงหุ่น Armature ของ Tom Brierton**

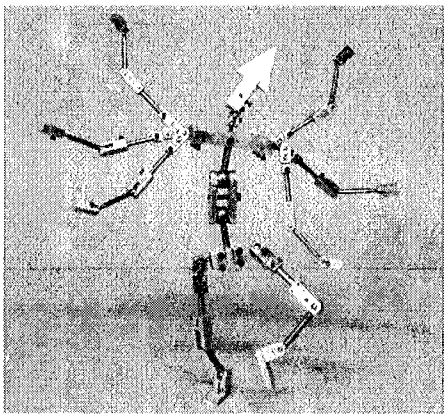
ข้อมูลเบื้องต้น Tom Brierton เป็นหนึ่งในนักออกแบบ Armature ที่มีชื่อเสียงมากที่สุดในวงการ แอนิเมชั่นสต็อปโมชั่น ซึ่งเขาได้เขียนหนังสือเกี่ยวกับสต็อปโมชั่นหลายเล่ม ได้แก่ Stop Motion Armature Machining: A Construction Manual (2002), Stop-Motion Puppet Sculpting: A Manual of Foam Injection, Build-Up, and Finishing Techniques (2004),Stop-Motion Filming and Performance: A Guide to Camera, Lighting and Dramatic Techniques (2006) ทั้งหมดล้วนเป็นแนวทางที่สำคัญสำหรับเทคนิคและการปฏิบัติในการสร้างแอนิเมชั่นสต็อปโมชั่น

การวิเคราะห์โครงสร้าง

4.1.ลักษณะและพื้นผิว การออกแบบที่เป็นเอกลักษณ์ของเขา คือการใช้โลหะหลายชนิด เช่น อลูมิเนียม, เหล็ก และวัสดุที่ใช้สร้างยานอวกาศ มาผลิต Armature ซึ่งวัสดุชนิดนี้มีน้ำหนักเบา และมีความทนทานยืดหยุ่นสูง ซึ่งสอดคล้องกับบทสัมภาษณ์ อีลอน มัสก์ ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานอวกาศ และเรือดำน้ำจิ๋วเพื่อช่วยเหลือเด็กติดถ้ำทั้ง 13 คน ในจังหวัดเชียงราย ปี พ.ศ. 2561 กล่าวว่า วัสดุที่ใช้สร้างยานอวกาศ มีความยืดหยุ่นมาก และมีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กกล้า มีความเบามากกว่าอลูมิเนียมราว 50% โดยมากผลิตมาจาก การถักทอคาร์บอนไฟเบอร์เป็นส่วนประกอบสำคัญ (Tomorn Sookprecha | Jul 12, 2018)



รูปที่ 2.9.ภาพโดย: Tom Brierton .Stop motion magazine. หน้า 11-12



รูปที่ 2.10.ภาพโดย: Tom Brierton .Stop motion magazine. หน้า 13

4.2.ส่วนหัว ,ตกแต่งโครงกะโหลกตามรูปแบบลักษณะที่กำหนดไว้ โดยส่วนมากทจากอีพ็อกซี่ และเรซิ่น สามารถถอดเปลี่ยนได้

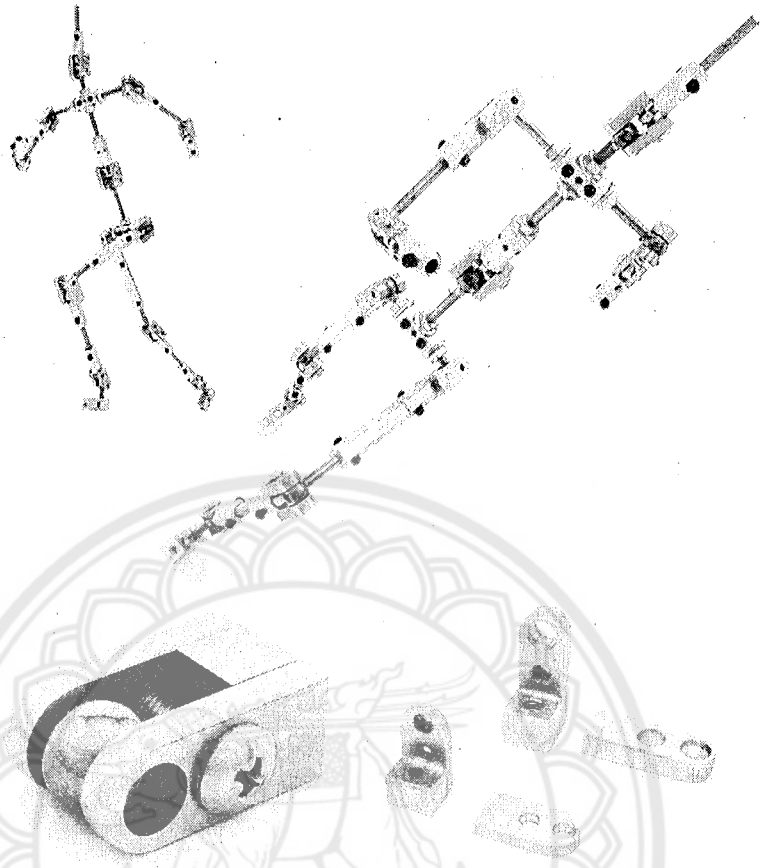
4.3.ส่วนลำตัว วัสดุที่นำมาสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ทำจากวัสดุยานอวกาศ ขอ้ต่อส่วนต่างๆเชื่อมต่อด้วยน็อต และสกรูขนาดเล็ก ส่วนลูกอลูมิเนียมนั้นค่อนข้างนิ่มสำหรับการทำบอลและซ็อกเก็ตหรือเบ้า จึงใช้ลูกเหล็ก เบ้าเหล็กหรืออลูมิเนียมแทน เพื่อความแข็งแรงทนทาน

จากบทสัมภาษณ์ของนิตยสาร Stop motion Magazine เขากล่าวว่า วัสดุที่นำมาสร้างโครง Armature นั้น ขึ้นอยู่กับว่าหุ่นกระบอกนั้นมีขนาดใหญ่เพียงใดซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่าจะใช้โลหะชนิดใด โครง Armature สำหรับสัตว์เลี้ยงขนาดเล็กอาจใช้เหล็กและ หุ่น Armature ขนาดใหญ่อาจผลิตด้วยอลูมิเนียม มีอลูมิเนียมหลายประเภทเช่น, 2024, 6061 เป็นต้น เขาใช้ 6061 ในราคาที่ต่ำ ความต้านทานแรงดึงสูงและเครื่องจักรทำงานได้ง่าย กฎง่ายๆของเขาคือการใช้เหล็กหรือทองเหลืองสำหรับชิ้นส่วนใด ๆ ที่เล็กกว่า 3/16 "เว้นแต่จะชุบอะลูมิเนียม และยังมีเทคนิคอโนไดซ์ Anodizing อีกด้วย

Anodizing คือกระบวนการการใช้ไฟฟ้าในการเพิ่มความหนาของตัว Oxide ซึ่งจะไปเคลือบที่ผิวอลูมิเนียม ที่เรียกกันว่า Anodizing ซึ่งจะเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนและช่วยเพิ่มค่าความยึดติดของสีและกาวได้ดีกว่าอลูมิเนียมทั่วไป (AICS Corporation,2015)

อโนไดซ์ มีหลายสี ได้แก่ สีน้ำเงิน, แดง, เหลือง, เขียว, ดำ อะโนไดซ์ armatures จะมีสวยงามโดยเฉพาะเมื่อเทียบกับ armature ที่ทำจากอลูมิเนียมขัดเงาและทองเหลืองขัดเงา แต่อย่างไรก็ตาม ความงามนั้นก็ถูกแทนที่ด้วยซิลิโคนหรือโฟม (Tom Brierton,2018)

5. โครงหุ่น Armature ของ Tetsu Kawamura



รูปที่ 2.11 StopMate series SM-004D รุ่นล่าสุด
Tetsu Kawamura.2018. http://www.modelanimation.com/

ข้อมูลเบื้องต้น Tetsu Kawamura นักสร้าง Armature เพื่องานสต็อปโมชั่น ชาวญี่ปุ่น เขาหลงไหลในการออกแบบโครงสร้างและค้นหาวัสดุใหม่ๆมาใช้ในการผลิตโครง Armature โดยได้ทำการทดลองจากโครง Armature ของฝั่งตะวันตก ศึกษาเรื่องสี และน้ำหนักของวัสดุ จนมาค้นพบการผลิตด้วยวัสดุที่ทดแทนที่น้ำหนักเบา และมีความสวยงาม จากการศึกษาข้อมูลจาก http://www.modelanimation.com/ ได้รับข้อมูลดังต่อไปนี้

ในการทดลองแรกของ Tetsu Kawamura เขาได้ทดลองกับข้อต่อ Armature โดยใช้ทฤษฎีหัวบอลและซ็อกเก็ต มาเป็นข้อต่อส่วนต่างๆ และได้ทดลองใช้วัสดุดังนี้

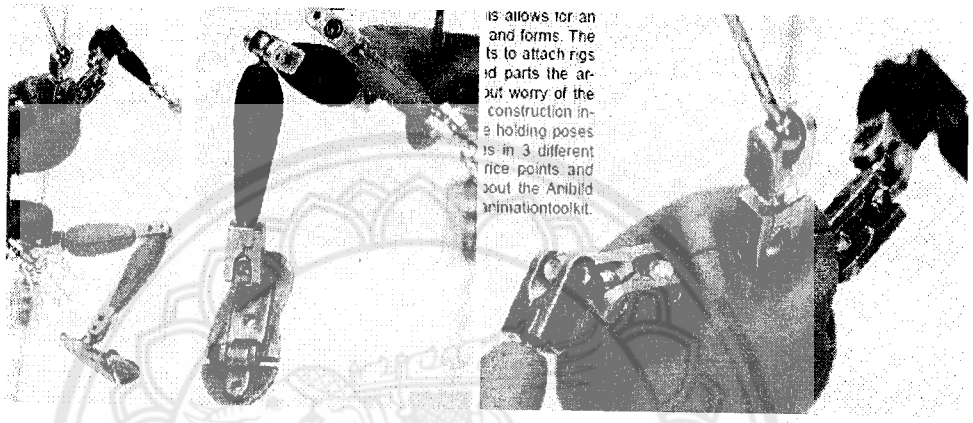
แบบที่ 1: หัวบอลและซ็อกเก็ต ทั้งสองเป็นสแตนเลส ใช้กับ เอว ข้อเท้า

แบบที่ 2: หัวบอลเป็นสแตนเลส ซ็อกเก็ตเป็นทองเหลือง ใช้กับส่วนขาและ เข่า

แบบที่ 3: หัวบอลและซ็อกเก็ตเป็นทองเหลือง

มากมาย อาทิ Aardman, Disney, Dreamworks, Factory Transmedia, ITV, Second Home, Tippet, Laika, Animmortal. ซึ่งทำให้บริษัทประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก

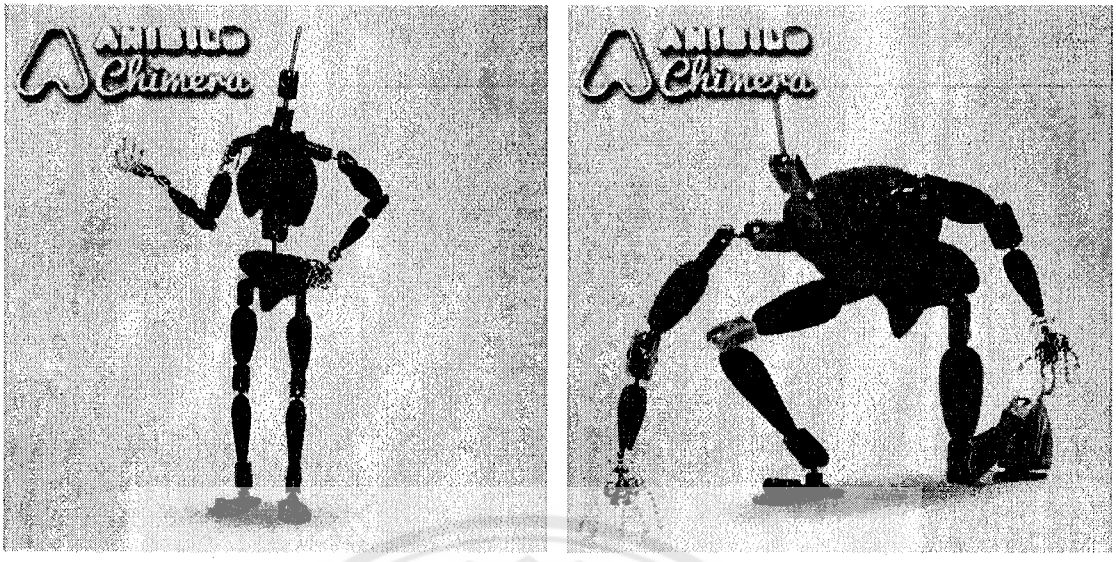
6.1.**ชุด Armature Anibild** ออกแบบโดย Westley มีทั้งหมด 3 ชุดด้วยกัน แต่ละชุดราคาจะแตกต่างกันไป มีโครงสร้างหลักทำมาจากสแตนเลส ซึ่งมีความแข็งแรงทนทานต่อการเคลื่อนไหวแบบ Stop motion มีการเสริมความแข็งแรงและช่วยเสริมรูปร่างของตัวละคร โดยการเพิ่มชิ้นส่วนที่พิมพ์ 3 มิติ ทดแทนส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อนั่นเอง



รูปที่ 2.13 Animation Toolkit : motion magazine. หน้า 52

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ลักษณะและพื้นผิว Armature รุ่น: Generic มีความสูง 290 มม วัสดุที่ใช้ 90 % คือสแตนเลสขัดเงา ต้องใช้ระยะเวลาถึง 5 วันจึงจะประกอบเสร็จ มีข้อต่อ 24 จุด, หลายจุดออกแบบตามหลักมานุษยวิทยา โครงสร้างกล้ามเนื้อพิมพ์ด้วยระบบ 3 มิติ มีความแข็งแกร่งและแม่นยำในการเคลื่อนไหว ช่วงข้อต่อประกอบด้วยหัวบอลและแผ่นเบ้าซ็อกเกต ที่ชุบด้วยโครเมียมเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนจากน้ำและกรดเหมาะสำหรับการเสียงสีเมื่อเคลื่อนไหว สามารถป้องกันสนิม หัวบอลมีขนาด 9 มม. 6 มม.และ 3mm และยังมีจารบีเพื่อป้องกันการเกิดการเสียดสีในระยะยาวให้กับผู้ใช้งานอีกด้วย



รูปที่ 2.14 Male 1C Cinematic Armature Anibild Chimera..Animation Toolkit

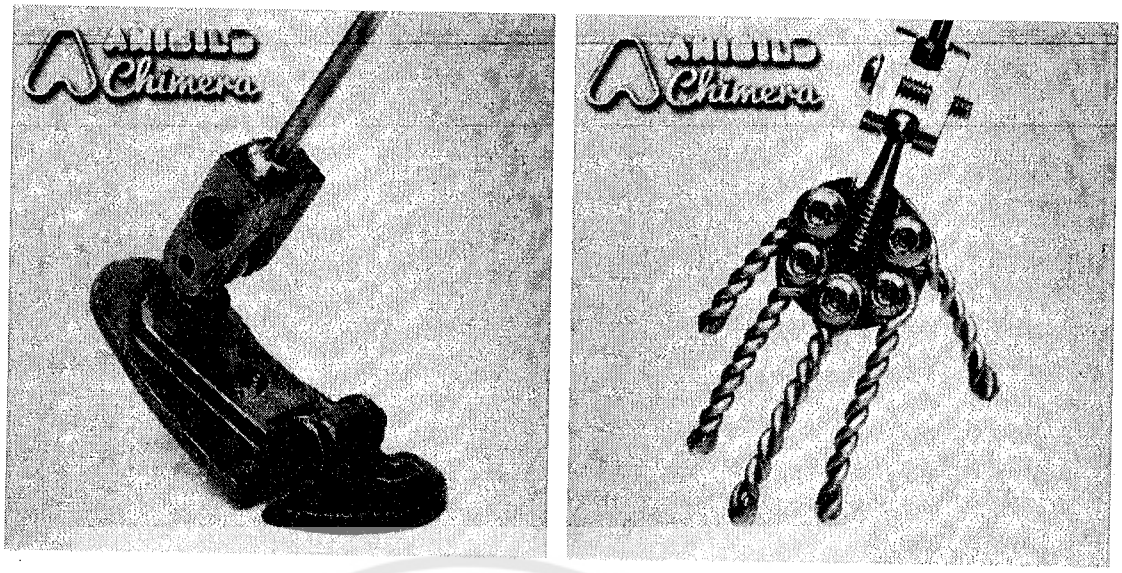
ส่วนหัว มีก้านสแตนเลสสำหรับใช้เสียบศีรษะของตัวละคร ซึ่งผู้ใช้งานสามารถปั่นได้ตามต้องการ อาจจะเป็นการปั้นดินน้ำมัน การหล่อเรซิ่น หรือการปริ้นท์สามมิติ ซึ่งเพิ่มทางเลือกที่หลากหลายให้ผู้ใช้งาน แกนด้านล่างเชื่อมต่อกับหัวบอลสแตนเลสสามารถปรับทิศทางการเคลื่อนไหวได้

ส่วนลำตัว ช่วงลำตัวประกอบด้วยโครงสแตนเลสด้านใน ท่อนบนและอุ้งเชิงกราน ประกบด้วย พลาสติกที่พิมพ์สามมิติ เพื่อการคงรูปทรงของหุ่น

ส่วนแขนและขา

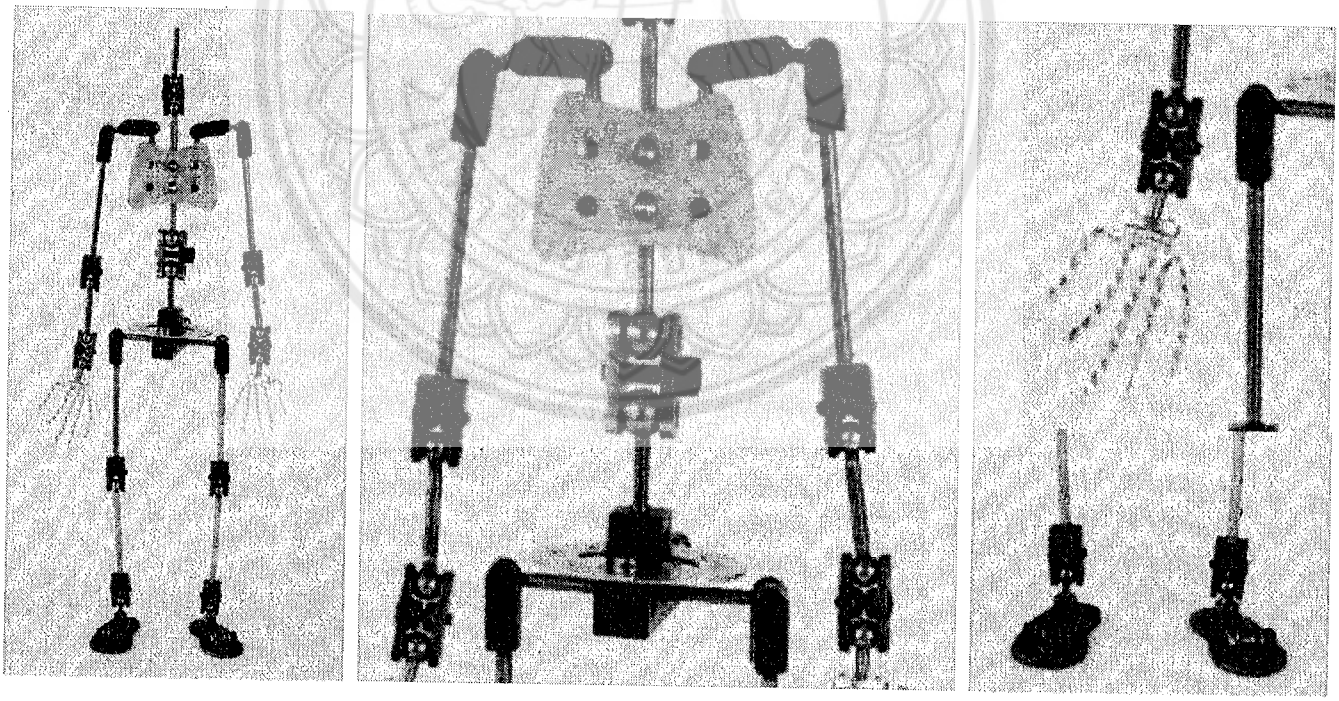
ส่วนแขน สร้างจากแท่งสแตนเลส มีเหล็กสกรูยึดตามข้อต่อต่างๆ และกล้ามเนื้อสองชิ้น ใช้การปริ้นท์สามมิติ นิ้วลวดที่ถอดเปลี่ยนได้ทำจากอะลูมิเนียม

ส่วนขา สร้างจากแท่งสแตนเลส และกล้ามเนื้อสองชิ้น ใช้การปริ้นท์สามมิติ ปลายเท้ามีแม่เหล็กหลายจุด ข้อต่อบานพับนิ้วเท้า



รูปที่ 2.15 Male 1C Cinematic Armature Anibild Chimera..Animation Toolkit 2019

7. โครงหุ่น Armatures Creature Kit ของ Aardman



รูปที่ 2.16 Aardman Armatures Creature Kit ; https://www.animationtoolkit.co.uk/aardman-armatures-creature-kit/

ข้อมูลเบื้องต้น โครง Aardman Armatures เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของค่าย Aardman animation โดยร่วมมือกับ Animation Toolkit ในการการผลิตสินค้า โดย Aardman Armatures ถูกออกแบบมาเพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้ผลิตโมเดลและอนิเมเตอร์ต้องการผลิต Stop motion จากทั่วโลก นับเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างความเป็นไปได้อย่างไร้ขีดจำกัดสำหรับการสร้างตัวละครและสิ่งมีชีวิตในโลก Stop motion ด้วยคำแนะนำในการประกอบที่ง่ายสามารถสร้างอะไรก็ได้จากโครง Armature ที่เรียบง่ายนี้ ไม่ว่าจะเป็นสัตว์สี่ขา ไดโนเสาร์และสัตว์ในตำนาน

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ลักษณะและพื้นผิว ประกอบด้วยชิ้นส่วนสแตนเลสมากกว่า 100 ชิ้น ข้อต่อเหล็กกล้าไร้สนิม 20 อัน หัวบอลสแตนเลสขุบแข็งและสกรูหัวซ็อกเก็ต มีแม่เหล็กฝังอยู่ที่ปลายเท้า ข้อต่อมีขนาดกะทัดรัดแข็งแรงและทนทานเหมาะสำหรับผู้สร้างมือสมัครเล่นหรือมืออาชีพ โครง Armature ยังมีจุดยึดซึ่งสามารถเป็นแกนค้ำยัน Aardman Armatures Rig .ให้ง่ายแก่การเคลื่อนไหวทางเทคนิคและแบบไดนามิก ลูกบอลและแท่งทั้งหมดมีเกลียวเกลียว M3 และสามารถยึดเข้ากับหัวบอลได้โดยใช้เกลียวล็อคที่แข็งแรง

ส่วนหัว มีก้านสแตนเลสสำหรับใช้เสียบศีรษะของตัวละคร ซึ่งผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการ อาจจะเป็นการปั้นดินน้ำมัน การหล่อเรซิ่น หรือการปริ้นท์สามมิติ ซึ่งเพิ่มทางเลือกที่หลากหลายให้ผู้ใช้งาน แกนด้านล่างเชื่อมต่อกับหัวบอลสแตนเลส สามารถปรับทิศทางการเคลื่อนไหวได้

ส่วนลำตัว ช่วงลำตัวประกอบด้วย ท่อนบนมีแผ่นอลูมิเนียมที่หน้าอก และมีแหวนอลูมิเนียม ที่สะโพก บริเวณอุ้งเชิงกรานและด้านบนของลำตัว มีอลูมิเนียม T Bone เป็นแกน (สีแดง)

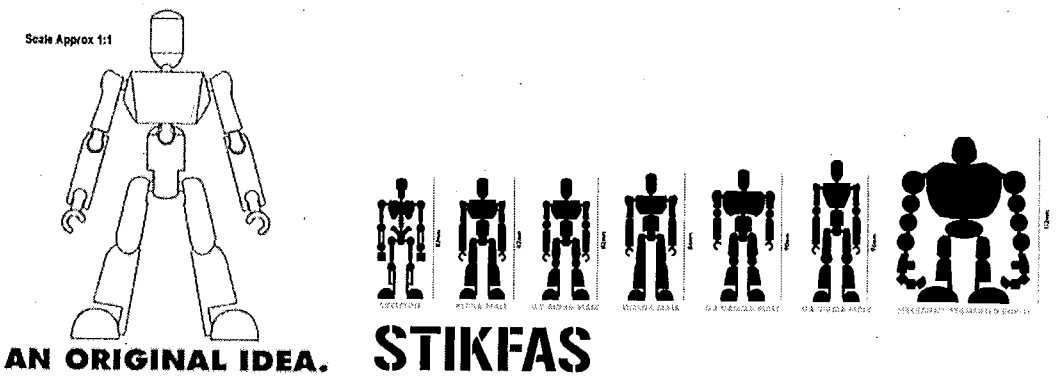
ส่วนแขนและขา

ส่วนแขน สร้างจากแท่งสแตนเลส มีหัวบอลเหล็กยึดตามข้อต่อต่างๆ

ข้อมือและนิ้วทำจากสแตนเลส มีแกนหลอดอลูมิเนียม ขนาด 1 x 1 มม. x 3ม. สำหรับนิ้วมือ และสามารถตัดได้ตามต้องการ

ส่วนขา สร้างจากแท่งสแตนเลส มีหัวบอลเหล็กยึดตามข้อต่อต่างๆ ปลายเท้ามีแม่เหล็กหลายจุดตามข้อต่อบานพับนิ้วเท้า

8. โครงหุ่น Stikfas

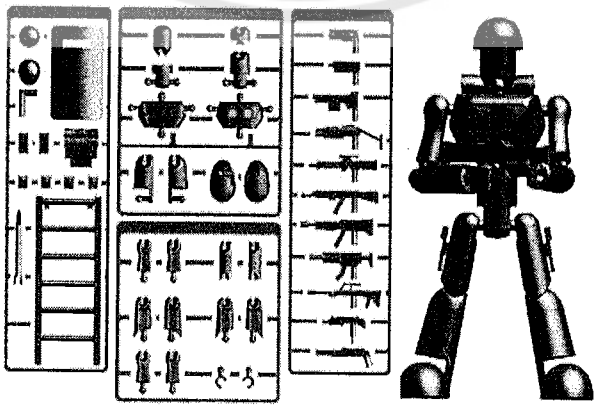


รูปที่ 2.16 http://stikshop.alt-world.com/stikfas.htm

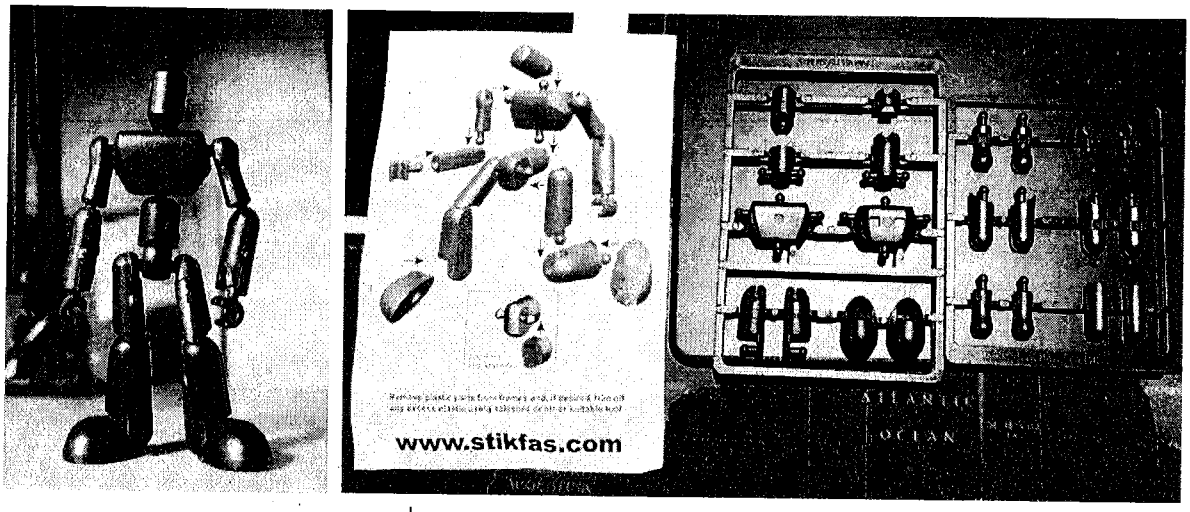
ข้อมูลเบื้องต้น

Armature stickfas คือหุ่นจำลอง หรือของเล่นที่สูง 3.25 นิ้ว (8 ซม.) ได้รับสิทธิบัตรและจดทะเบียนในนาม บริษัท Stikfas Pte. Ltd อยู่ในประเทศสิงคโปร์ ซึ่งได้แนวคิดสั้น ๆจากสมุดร่างของ Ban YJ ผู้ก่อตั้ง ตอนนี้กลายเป็นแบรนด์ของเล่นรูปแบบใหม่ Stikfas ได้รับรางวัลที่ 2 ในงานประกวด "Best of the Best 2002" รางวัลของเล่นที่สนุกและสร้างสรรค์ที่สุด จากแบบสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคโดยนิตยสาร Toyshop ซึ่งเป็นความสำเร็จครั้งแรกของพวกเขา

ในปี 2002 บริษัท Hasbro ซึ่งเป็นผู้ผลิตของเล่นรายใหญ่ได้รับ Licence ในการผลิตหุ่นให้กับ Stikfas โดยมีรายการขายเป็น "ชุด" ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์เสริมคือสติกเกอร์และตัวหุ่นสำรองที่มีรูสี่เหลี่ยม สำหรับสวมใส่อุปกรณ์เสริมที่สามารถซื้อแยกได้ และมีการออกแบบโครงใหม่ๆเพิ่มเติมคือรุ่น มังกร, สุนัข, แมว, จักรยาน, ม้า, ไดโนเสาร์ เพื่อใช้ร่วมกับหุ่นแต่ละชุด เมื่อประกอบเสร็จแล้วพวกเขาสามารถปรับแต่งด้วยสติกเกอร์ และชิ้นส่วนอื่น ๆ ราคาเริ่มต้นที่ 8$ ถึง 34$



รูปที่ 2.17 ภาพถ่ายของของเล่น Stikfas Pirate http://stikshop.alt-world.com/stikfas.htm



รูปที่ 2.18 ภาพถ่ายของของเล่น Stikfas

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ลักษณะและพื้นผิว สร้างจากพลาสติกชนิดแข็ง ที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมของ Hasbro มีพาเลสพลาสติกที่แกะออกได้ง่าย STIKFAS มีข้อต่อทั้งหมดเป็นบอล และซ็อกเก็ต สามารถถอดเปลี่ยนได้ การขยับท่าทางทำได้ไม่ดีนัก เนื่องจากซ็อกเก็ตรองรับการงอได้ด้านเดียว ดังนั้นจึงใช้การหมุนไปมาเพื่อนเปลี่ยนท่าทาง ไม่เหมาะกับการนำดินน้ำมันมาเสริมทั้งตัวเนื่องจากต้องบิดข้อต่อไปมา

ส่วนหัว เป็นทรงกระบอก และมีซ็อกเก็ตเพื่อต่อกับลำตัว ด้านบนโค้งมนเพื่อรองรับอุปกรณ์เสริม เช่น หมวก

ส่วนลำตัว ช่วงลำตัวมี 2 ท่อน ส่วนคอติดกับลำตัวท่อนบน เป็นแกนยื่นออกมา 2 มม.และหัวบอลขนาด 3 มม.หัวไหล่ติดกับลำตัวไม่สามารถขยับได้ มีแกนและหัวบอลต่อกับแขนท่อนบน ลำตัวท่อนล่างเป็นส่วนของเอวและเชิงกราน มีแกนต่อกับขาทั้งสองข้างเช่นกัน ซึ่งในชุดพาเลสจะมีอย่างละ 2 อัน ต่างกันตรงที่อีกอันจะมีรูสี่เหลี่ยมไว้ติดอุปกรณ์เสริม เช่น ชุดเกราะ

ส่วนแขนและขา

ส่วนแขน มี 3 ส่วน ได้แก่ แขนท่อนบนซ้ายและขวาอย่างละ 2 อัน โดยอีกอันมีรูสี่เหลี่ยมสำหรับใช้ใส่อุปกรณ์เสริม แขนท่อนล่างมี 2 อัน ซ้ายและขวา มีสัญลักษณ์ R และ L กำกับชัดเจน มือรูปตัว U โดยใส่แขนได้ทั้งสองด้าน เหมาะสำหรับการถอดเปลี่ยนอาวุธหรือหยิบจับอุปกรณ์เสริมได้

ส่วนขา มี 3 ส่วน ขาท่อนบนซ้ายและขวาอย่างละ 2 อัน โดยอีกอันมีรูสี่เหลี่ยมสำหรับใช้ใส่อุปกรณ์เสริม มีเบ้าซ็อกเก็ต สำหรับติดกับก้านบอลของอุ้งเชิงกราน และอีกด้านเป็นก้านบอล ที่ใช้ยึดกับขาท่อนล่าง ซึ่งท่อนล่างมี 2 อัน ซ้ายและขวา มีสัญลักษณ์ R และ L กำกับชัดเจน ปลายขาท่อนล่าง มีการบั่นเป็นร่องสี่เหลี่ยมและมีก้านบอลยื่นออกมาเพื่อรองรับส่วนเท้า ซึ่งสามารถปรับขึ้นลงได้ แต่หาจะหมุนเท้าไปทางซ้ายหรือขวา จะต้องหมุนทั้งขาท่อนล่างไปด้วย ส่วนเท้า หากซื้อชุดธรรมดาจะไม่มีแม่เหล็กที่เท้า แต่จะมีรูสี่เหลี่ยมให้ใส่เพิ่มได้ ซึ่งถ้าซื้อชุดใหญ่จะมีครบทั้งหมด รวมถึงอุปกรณ์เสริม เช่น อาวุธ ต่างๆ

9. โครงหุ่น modibot

รูปที่ 2.19 https://modibot.com/pages/meet-mo

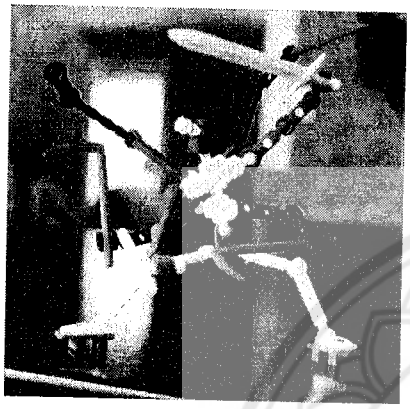
ข้อมูลเบื้องต้น

ModiBot Mo คือ Armature พลาสติก สัญชาติอเมริกัน ที่สร้างจากการปริ้นท์ สามมิติ ทั้งชุด หัวใจสำคัญของพวกเขาคือการผลิตโครงและอุปกรณ์ประกอบ ให้ลูกค้าสามารถนำไปสร้างเรื่องราวได้ด้วยตัวเอง ModiBot Mo เป็นเหมือนโครงกระดูกที่กำลังเคลื่อนที่ซึ่งสามารถครอบคลุมการออกแบบของผู้ใช้งานเองหรือปรับแต่งด้วยอุปกรณ์เสริมที่พวกเขาออกแบบและทำไว้ล่วงหน้า ซึ่งสามารถสั่งได้ตามต้องการ โดยทีมสร้าง Modibot ได้กล่าวไว้ในทวิสเตอร์ว่า พวกเขาคือเครื่องปริ้นท์สามมิติ ภารกิจคือสร้างแรงบันดาลใจให้มนุษยชาติในรูปแบบใหม่ ซึ่งเต็มไปด้วยความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการ (Modibot Mo 2012)

Modibot Mo มีชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกัน 19 ชิ้น ที่ยังไม่ได้ประกอบ หนึ่งชิ้นมีจุดเชื่อมต่อหัวบอลและซ็อกเก็ตที่มีความยืดหยุ่น 14 จุด สามารถให้ลูกค้าออกแบบและค้นหาชิ้นส่วนพร้อมกับสิ่งพิมพ์ 3 มิติ ได้จากเว็บ Shapeways BotShop มีหลายสีให้เลือกเช่น สีส้ม, ดำ, ขาว, ส้ม, เขียวทหาร, น้ำเงิน, ฟ้าน้ำแข็ง, แดง, ชมพู, เทา, น้ำตาล, ม่วงและเหลือง มีความสูง 5 นิ้ว ชิ้นส่วนอะไหล่ฟรีตามคำขอ ราคาที่สั่งซื้อ ราว ๆ 6-64.99

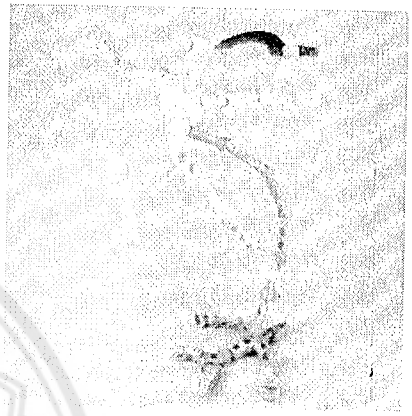
การวิเคราะห์โครงสร้าง

ลักษณะและพื้นผิว สร้างจากเส้นพลาสติกที่มาจาก Polyamide ในรูปแบบของโพลีเอสเตอร์ มีหลากหลายสี และเครื่องพิมพ์สามมิติ ออกแบบด้วยโปรแกรมสามมิติที่แม่นยำ และทำการสั่งปริ้นท์เพื่อขายให้ลูกค้าที่สนใจ การออกแบบ 3 มิติ เป็นตัวเลือกที่อิสระมากขึ้น เพราะสามารถออกแบบได้ไม่รู้จบ สามารถสร้างอุปกรณ์เสริมที่กำหนดเองได้ ใช้เส้นพลาสติกที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดสำหรับภาพเคลื่อนไหวสต็อปโมชั่นและโครงการสร้างสรรค์ต่างๆ



Building & Customizing

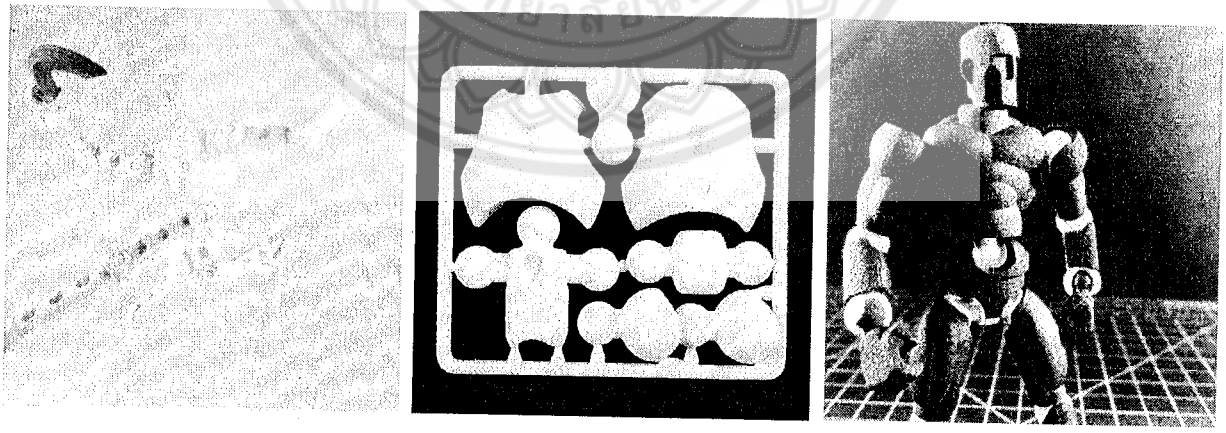
Character Design



Stopmotion Animation

รูปที่ 2.20 https://modibot.com/pages/3d-design-printing

ส่วนหัว เป็นทรงกระบอก และมีซ็อกเก็ตเพื่อต่อกับคอที่ติอลำตัว ด้านบนโค้งมนเพื่อรองรับอุปกรณ์เสริม เช่น หมวก มีรูปตรงกลางเป็นรู 6 เหลี่ยม สำหรับเปลี่ยนใบหน้า หรือหน้ากาก



รูปที่ 2.21 ModiBot Stopmotion Starter Set

และ Black Exo-Skin w/Mo figure frame https://modibot.com/

ส่วนลำตัว ช่วงลำตัวมี 3 ส่วน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและการสั่งซื้อ ส่วนลำตัวท่อนบน คล้ายกากบาท คอและหัวไหล่ติดกับลำตัวไม่สามารถขยับได้ มีแกนและหัวบอลต่อกับแขนท่อนบน มีรูเป็นรูป 6 เหลี่ยม 5 จุด สำหรับติดอุปกรณ์เสริม

ลำตัวท่อนกลาง ถูกผลิตมาเพาอเป็นอุปกรณ์เสริม มีรูตรงกลางเพื่อเชื่อมต่อกับก้านค้ำยัน สำหรับทำสต็อบโมชั่น เพื่อให้โครง Armature มีการทรางตัวได้ง่ายขึ้น

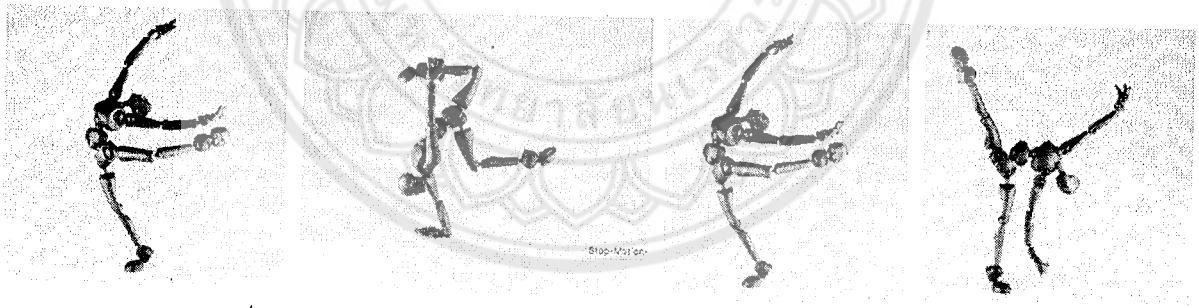
ลำตัวท่อนล่างเป็นส่วนของเอวและเชิงกราน มีแกนต่อกับขาทั้งสองข้างเช่นกัน มีรู 6เหลี่ยมไว้ติดอุปกรณ์เสริม เช่น ชุดเกราะ

ส่วนแขนและขา

ส่วนแขน มี 3 ส่วน ได้แก่ แขนท่อนบนและแขนท่อนล่าง มีรู 6 เหลี่ยมสำหรับใช้ใส่อุปกรณ์เสริม ท่อนแขนทรงกระบอกด้านหนึ่งเป็นหัวบอลและอีกด้านเป็นซ็อกเก็ตที่ใหญ่ มือเป็นรูปตัว U โดย เหมาะสำหรับการถอดเปลี่ยนอาวุธหรือหยิบจับอุปกรณ์เสริมได้

ส่วนขา มี 3 ส่วน ขาท่อนบนและขาท่อนล่าง มีรู 6 เหลี่ยมสำหรับใช้ใส่อุปกรณ์เสริม ท่อนขาทรงกระบอกด้านหนึ่งเป็นหัวบอลและอีกด้านเป็นซ็อกเก็ตที่ใหญ่ใช้แทนหัวเข่า และสำหรับติดกับอุ้งเชิงกราน ปลายขาท่อนล่างเป็นเบ้าซ็อกเก็ตเชื่อมต่อกับส่วนเท้า และปลายเท้ามีรูสำหรับใส่อุปกรณ์เสริม เช่น รองเท้า เป็นต้น

10. โครงหุ่น Stickybones



รูปที่ 2.22 ภาพจากวีดีโอ https://vimeo.com/152141643 โครงหุ่น stickybones https://www.stickybones.com/

Stickybones Inc. ตั้งอยู่ที่ San Diego, CA United States (สหรัฐอเมริกา) เป็นความร่วมมือของศิลปินนักสร้างภาพเคลื่อนไหว นักเขียน ผู้สร้างภาพยนตร์และนักออกแบบที่พัฒนาเครื่องมือและแบ่งปันกระบวนการของเราไปพร้อมกัน เริ่มต้นมาจากการร่วมมือของ Lauren Baker, Florian Perinelle และ Erik Baker หนึ่งในนั้นคือนักสร้างสต็อปโมชั่น จากสตูดิโอชื่อดังอย่าง Laika Stodio

Florian Perinelle หนึ่งในทีมงานผู้สร้าง Stickybones ในตำแหน่งหัวหน้าของ Stop Motion Education และ Animation Supervisor โดย Flo ได้ร่วมงานกับทีมผู้สร้างแอนิเมชั่น Stop Motion ที่ดีที่สุดในโลกเช่น Aardman และ Laika และมีผลงานมากมาย เช่น Kubo and Two Strings, Boxtrolls, Paranorman และ Pirates: Band of Thieves แม้กระทั่ง Missing Link ที่กำลังจะเข้าฉายของ Laika ในต้นปี พ.ศ. 2562

Perinelle กระตือรือร้นที่จะถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับแอนิเมชั่นสต็อปโมชั่นที่เขาสะสมไว้ จากการสร้างภาพยนตร์ โดยกล่าวว่า เขาต้องการช่วยให้ผู้คนเข้าถึงศักยภาพสูงสุดด้วยอนิเมชั่นสต็อปโมชั่นและมอบทักษะที่จำเป็นในการประกอบอาชีพหากทุกคนสนใจ เขาเชื่อว่าผลิตภัณฑ์ Stickybones นั้นยอดเยี่ยมและมีศักยภาพที่ไม่เหมือนใคร สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างสื่อการสอนที่เข้าถึงได้จากเกือบทุกที่ในโลก ตั้งแต่เริ่มต้นอาชีพของเขา เขารู้ว่าการเรียนการสอน สต็อปโมชั่นที่ดีและเป็นประโยชน์นั้นหายาก บางประเทศมีการสอนที่ดีมาก เช่น อังกฤษ แต่ประเทศอื่น ๆ อาจไม่มีอะไรเลย เขาโชคดีที่ได้อยู่ในสถานที่ที่ถูกต้องในเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ แต่เขาได้พบกับผู้คนมากมายที่ปรารถนาโอกาสที่จะเรียนรู้ทักษะที่จำเป็นเกี่ยวกับ สต็อปโมชั่นให้เป็นมืออาชีพและไม่สามารถเข้าถึงโปรแกรมที่ใช้สร้างสรรค์ผลงานได้ ความฝันของเขาคือการให้เครื่องมือและทักษะแก่พวกผู้คน และ Stickybones คือสิ่งที่จะมาเสริมสร้างความรู้นี้ (Florian Perinelle2018)

Stickybones มีระบบข้อต่อที่ปลดล็อกความเป็นไปได้ที่ไม่มีที่สิ้นสุดสำหรับการวางตัว พวกเขาให้คำนิยามว่า Stickybones สร้าง "Infinite Pose-Abilities"

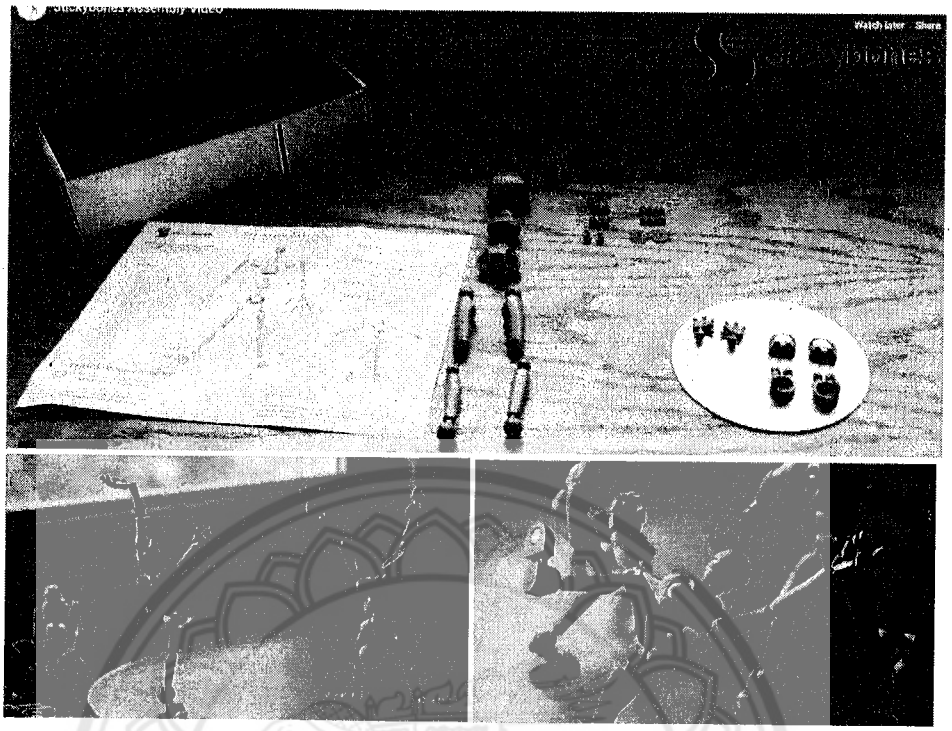
การวิเคราะห์โครงสร้าง

ลักษณะและพื้นผิว สร้างจากโปรแกรม 3 มิติ และสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เรซิ่น จากนั้นนำมาเจียร์ให้ผิวเรียบ ทาสีและเรเซอร์ให้สีติดแน่นและทนทานขึ้น บางส่วนที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ใช้แท่นแม่พิมพ์โมลด์ สร้างขึ้นจากการบีบอัดให้เป็นชิ้นส่วนตามแม่พิมพ์เหล็กที่ทำขึ้นมา

รูปที่ 2.22 ภาพจากวีดีโอ https://vimeo.com/152141643 โครงหุ่น stickybones https://www.stickybones.com/

ส่วนหัว มีใบหน้าคล้ายโครงสร้างมนุษย์ และมีซ็อกเก็ตเพื่อต่อกับคอ ส่วนคอมีก้านหัวบอลทั้งสองด้าน เพื่อต่อกับหัวและลำตัว

ส่วนลำตัว ช่วงลำตัวมี 3 ส่วน ลักษณะโค้งมน สร้างจากการพิมพ์เรซิ่นและตกแต่งด้วยมือ ทุกชิ้นเปรียบเสมือนงานฝีมือ มีความละเอียดและพิถีพิถันในการสร้าง ลำตัวท่อนบนมีลักษณะเป็นซ็อกเก็ต 4 ด้าน ด้านบนติดกับลำคอ ด้านล่างติดกับท่อนเอว และซ้ายขวา ติดกับหัวไหล่ สามารถขยับขึ้นลงได้



รูปที่ 2.23 ภาพจากวีดีโอ https://vimeo.com/152141643 และ https://youtu.be/d0rfwmb5Vjs

ส่วนแขนและขา

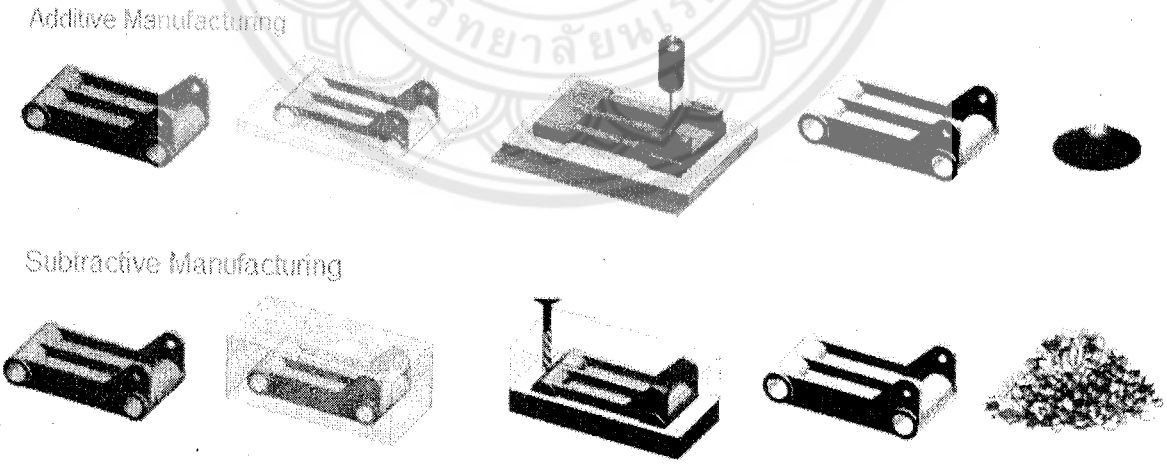
ส่วนแขน มี 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวไหล่ เป็นแกนหัวบอล ด้านติดกับลำตัวจะใหญ่กว่าด้านที่ติดแขน ส่วนแขนท่อนบนและแขนท่อนล่าง เป็นทรงกระบอกมีเส้นโค้งตามแบบฟิกเกอร์มนุษย์ ส่วนสุดท้ายคือฝ่ามือและนิ้วมือ บริเวณฝ่ามือจะมีแม่เหล็กฝังอยู่ และมีแกนหัวบอลยื่นออกมา 4 นิ้ว ตามแบบฉบับของแอนิเมชั่น คือมีนิ้วหัวแม่มือ 1 นิ้ว และนิ้วอื่นๆยกเว้นนิ้วกลาง 3 นิ้ว แต่ละนิ้วมีอย่างละ 2 ข้อ ซึ่งประกอบด้วยซ็อกเก็ตและหัวบอลขนาดเล็กอย่างละด้าน

ส่วนขา มี 4 ส่วน ขาท่อนบนมีหัวบอลเชื่อมต่อกับเชิงกราน และซ็อกเก็ต เชื่อมต่อกับหัวเข่าด้านหลังมีลักษณะเว้าเข้า เพื่อรองรับการพับขาหรือนั่งกอดเข่าได้อย่างแนบเนียน ขาท่อนมีหัวบอล 2 ด้าน ด้านบนแทนหัวเข่า และด้านล่างมีขนาดบอลที่ใหญ่กว่าเพื่อสวมเข้ากับเท้า ส่วนเท้ามี 2 ส่วน คือส้นเท้าเป็นซ็อกเก็ตแทนตาตุ่ม และอีกด้านเป็นแกนหัวบอล 2 แกน เพื่อต่อกับปลายเท้าและล็อกให้บิดได้ขึ้น ลง เท่านั้น ส่วนปลายเท้ามีแม่เหล็กอยู่ด้านล่างสามารถถอดเปลี่ยนได้

กระบวนการพิมพ์ต้นแบบด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

1. การพิมพ์ต้นแบบ 3มิติ

วิไลพรรณ (2560) การปฏิวัติอุตสาหกรรม (Industrial Revolution) คือ ช่วงเวลาตั้งแต่ ค.ศ. 1750 – 1850 เมื่อการเปลี่ยนแปลงในภาคเกษตรกรรม, การผลิต, การทำเหมืองแร่, การคมนาคมขนส่ง และเทคโนโลยี ส่งผลกระทบอย่างลึกซึ้งต่อสภาพสังคม, เศรษฐกิจ และวัฒนธรรมในขณะนั้น ซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนครั้งสำคัญในประวัติศาสตร์โลก โดยส่งผลกระทบในเกือบทุกแง่มุมของชีวิตประจำวันไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง และนับจากอดีตเมื่อเริ่มมีการปฏิวัติอุตสาหกรรมยุคแรกๆ เรื่อยมาจนถึงปัจจุบันนี้ที่เรากำลังเผชิญความท้าทายครั้งใหม่ ในการเข้าสู่อุตสาหกรรมในยุค 4.0 (Industry 4.0) เทคโนโลยีการผลิตได้พัฒนาไปอย่างมาก จนเรียกได้ว่าก้าวล้ำอนาคตเข้าไปทุกวัน และหนึ่งในเทคโนโลยีสำคัญที่ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมาก แน่นอนเรากำลังพูดถึงเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ หรือ 3D Printing นั่นเอง แล้วเราจะได้ประโยชน์จากการใช้งานเทคโนโลยีการพิมพ์แบบ 3 มิติ นี้ได้อย่างไร และเจ้าสิ่งนี้จะช่วยเราได้มากน้อยสักแค่ไหนในโลกของการผลิตยุคใหม่ ตามมาดูกันเลยดีกว่า เชื่อว่าหลายๆ ท่านในวงการอุตสาหกรรมคงจะเคยได้ยินคำว่า Rapid Prototyping กันมานานแล้ว แม้ว่าปัจจุบันนี้จะเปลี่ยนชื่อใหม่เป็น 3D Printing หรือเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ กับกระแสที่เรียกว่าแรงดีไม่มีตกอยู่ทุกวันนี้ จริงๆ แล้วไม่ว่าจะชื่อไหนก็มาจากหลักการเดียวกันก็คือ Additive Manufacturing (AM) หรือการผลิตแบบเพิ่มเนื้อนั่นเอง และแตกต่างโดยสิ้นเชิงกับการผลิตแบบเดิมที่เราใช้กันโดยแพร่หลายซึ่งเรียกว่า Subtractive Manufacturing หรือการผลิตแบบตัดเนื้อออก ตัวอย่างเช่น เครื่องจักร CNC เป็นต้น ซึ่งแต่เดิมเทคโนโลยี 3D Printing มักถูกใช้เพียงเพื่อสร้างวัตถุต้นแบบจากโมเดล 3 มิติ หรือ Prototype แต่ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เพื่อเข้ามาช่วยงานในหลายๆ ด้าน และนำไปใช้งานจริงๆ กันแล้ว

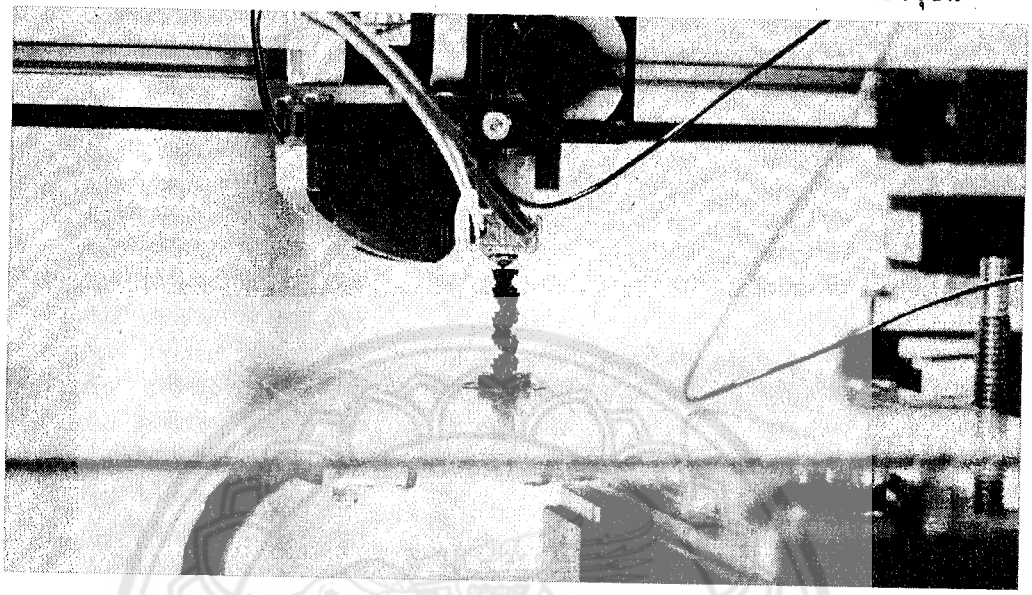


ภาพที่__กรรมวิธีการผลิตแบบ Additive Manufacturing และ Subtractive Manufacturing

ที่มา : http://www.siam3dprinter.com/tag/additive-manufacturing/

ทศทิป (2558) เมื่อการผลิตแบบดิจิทัล (Digital Fabrication) เปิดโอกาสให้นักสร้างสรรค์ผลิตสินค้าตามอย่างจินตนาการได้ด้วยตนเอง มิติใหม่แห่งการผลิตจึงเกิดขึ้นพร้อมกับศักยภาพที่จะเปลี่ยนวิถีแห่งการผลิตของโลก เทคโนโลยีแห่งการผลิตแบบดิจิทัล ที่กำลังได้รับการพูดถึงเป็นอย่างมากในปัจจุบัน คือ การพิมพ์

แบบสามมิติ (3D Printing) ซึ่งหมายถึงการนำวัสดุมาขึ้นรูปทีละชั้นตามแบบที่ทำไว้ในคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีดังกล่าวไม่ใช่เรื่องใหม่แต่อย่างใด Charles W. (Chuck) Hull ออกแบบเครื่องพิมพ์แบบสามมิติเครื่องแรกขึ้นในปี 1984 ให้กับบริษัท 3D Systems Corporation หลังจากนั้นการพิมพ์แบบสามมิติได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกลายเป็นเทคโนโลยีที่ภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือนสามารถเข้าถึงได้ในปัจจุบัน



ภาพที่__การพิมพ์ 3 มิติ

ที่มา :http://www.mmthailand.com/digital-fabrication-ก้าวใหม่แห่งการผลิต/

ความพิเศษของการพิมพ์แบบสามมิติ คือ วิธีการผลิตชิ้นงาน ในขณะที่การขึ้นแบบหรือการผลิตที่ทำกันมาแต่ไหนแต่ไรจะมีลักษณะเป็น Subtractive Manufacturing ซึ่งคือการผลิตโดยการตัดหรือกัดเนื้อวัสดุออกให้เป็นตามแบบที่ต้องการ เช่น การนำไม้มาเลื่อยเป็นแผ่นเพื่อนำมาประกอบเป็นเฟอร์นิเจอร์ แต่การพิมพ์แบบสามมิติมีลักษณะเป็นการผลิตแบบ Additive Manufacturing ซึ่งเป็นวิธีการผลิตโดยการเติมเนื้อวัสดุให้ได้ตามแบบที่ต้องการ Sarah Hoit นักเขียนจากนิตยสาร Matter อธิบายถึงความแตกต่างของระบบการผลิตทั้งสองแบบไว้ว่า การผลิตแบบ Subtractive Manufacturing เปรียบเหมือนการแกะสลักรูปปั้นจากหินอ่อนก้อนใหญ่ แต่ Additive Manufacturing คือการสร้างรูปปั้นด้วยการนำอิฐก้อนเล็กๆ มาเรียงต่อกัน

นอกจากการพิมพ์แบบสามมิติซึ่งมีการผลิตแบบการเติมเนื้อวัสดุจะช่วยทำให้การสูญเสียวัสดุน้อยลงยังเปิดโอกาสให้นักออกแบบและนักสร้างสรรค์ผลิตผลงานรูปแบบใหม่ได้อย่างที่ไม่เคยมีมาก่อน อันจะเห็นได้จากตัวอย่างผลงานที่จัดแสดงในนิทรรศการ Industrial Revolution 2.0: How the Material World will Newly Materialise ที่จัดขึ้นที่พิพิธภัณฑ์ V&A ในกรุงลอนดอนในปี 2011 นิทรรศการดังกล่าวจัดแสดงผลงานทั้งประเภทศิลปะและการออกแบบอันน่าทึ่งที่ผลิตขึ้นจากการพิมพ์แบบสามมิติ ไม่ว่าจะเป็นรูปปั้น Lady Belhaven ที่มีการพิมพ์หมวกเพิ่มให้กับรูปปั้นโดยฝีมือของ Samuel Joseph หรือโต๊ะ Fractal MCX

ที่มีรูปทรงซับซ้อนที่ได้แรงบันดาลใจมาจากต้น Dragon Tree ที่ผลิตโดยบริษัท Platform Studio and Mathias Bar โต๊ะดังกล่าวได้รับการผลิตขึ้นจากวัสดุเรซินเพียงหนึ่งชิ้น เป็นผลงานที่ไม่สามารถผลิตขึ้นได้เลย ถ้าไม่ใช่การผลิตด้วยการพิมพ์แบบสามมิติ

ภาพที่__การพิมพ์ 3 มิติ

ที่มา :http://www.mmthailand.com/digital-fabrication-ก้าวใหม่แห่งการผลิต/

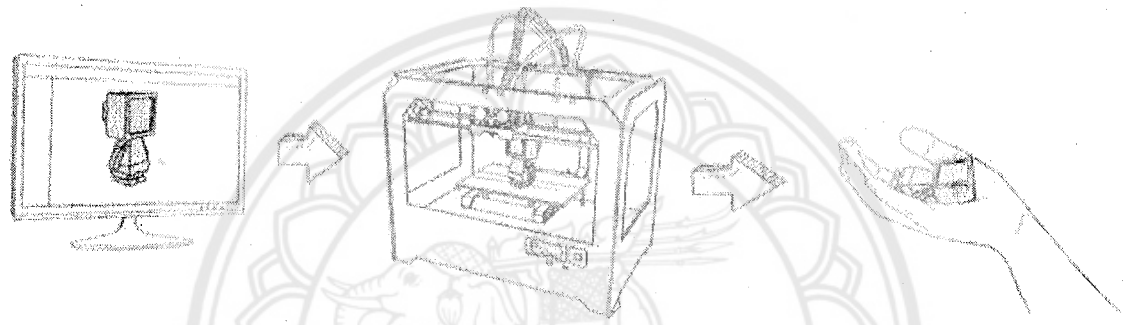
เมื่อการพิมพ์แบบสามมิติ คือ การขึ้นชิ้นงานตามแบบในไฟล์คอมพิวเตอร์ การเปลี่ยนแปลงรายละเอียดของชิ้นงานจึงทำได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการผลิตยังต่ำกว่าการผลิตในระบบอุตสาหกรรมที่ต้องสั่งทำแม่พิมพ์ การพิมพ์แบบสามมิติจึงทำให้การผลิตไม่จำเป็นต้องผูกขาดกับการผลิตในระบบอุตสาหกรรมครั้งละมากๆ อีกต่อไป ผู้ผลิตสามารถผลิตสินค้าที่แตกต่างกันไปตามความต้องของผู้ใช้แต่ละรายได้ นับเป็นก้าวกระโดดทางด้านการผลิตและการพัฒนาสินค้าครั้งสำคัญที่ไม่เคยมีมาก่อน

บริษัทอุปกรณ์กีฬาชั้นนำอย่าง Nike ใช้ประโยชน์ของการพิมพ์แบบสามมิติในการผลิตรองเท้ากีฬารุ่นใหม่ คือ รองเท้าสตั๊ดรุ่น Vapor Laser Talon พื้นรองเท้ารุ่นนี้ถูกผลิตขึ้นด้วยการพิมพ์สามมิติเพื่อให้ลูกค้าแต่ละรายครอบครองรองเท้ากีฬาที่มีขนาดพอดีเท้าตัวเองทุกกระเบียดนิ้ว ในขณะที่บริษัทยักษ์ใหญ่เริ่มให้ความสนใจในการใช้การพิมพ์แบบสามมิติในการผลิตสินค้า ผู้ผลิตรายย่อยในระดับครัวเรือนก็เริ่มให้ความสนใจในเทคโนโลยีนี้เช่นกันเนื่องจากเครื่องพิมพ์มีราคาถูกลง อีกทั้งแบบที่ใช้ผลิตข้าวของต่างๆ สามารถหาได้ในอินเตอร์เน็ตในลักษณะของโอเพ่นซอร์สที่เปิดโอกาสให้ผู้คนมาดาวน์โหลดแบบและนำไปปรับและผลิตตามความต้องการของตนอย่างที่เห็นได้จากเว็บไซต์ Thingiverse.com

เมื่อการพิมพ์แบบสามมิติเปิดโอกาสให้ผู้คนสร้างสรรค์รูปทรงใหม่ๆ อย่างที่ไม่เคยมีมาก่อน อีกทั้งยังทำให้รูปแบบการผลิตไม่ถูกจำกัดอยู่ที่การผลิตชิ้นงานซ้ำๆ แบบจำนวนมากอีกต่อไป เทคโนโลยีแห่งการผลิตแบบดิจิทัลดังกล่าวจึงสร้างความสั่นสะเทือนให้แก่หลากหลายวงการไม่ว่าเป็นวงการผลิตหรือวงการออกแบบจนเป็นที่กล่าวขานกันอย่างมากมายในปัจจุบัน

2. ประวัติการพิมพ์ต้นแบบ 3มิติ

อสิพล (2559) เมื่อพูดถึงการพิมพ์เรามักจะนึกถึงการพิมพ์ลงบนกระดาษ หรือการพิมพ์แบบ 2 มิติ (2D Printing) แต่การพิมพ์ 3 มิติ (3D Printing) นั้นเป็นการสร้างวัตถุ 3 มิติจากไฟล์ 3D CAD โดยตรง ซึ่งมีความกว้าง ยาว ลึก สามารถจับต้องและนำไปใช้งานได้จริงๆ



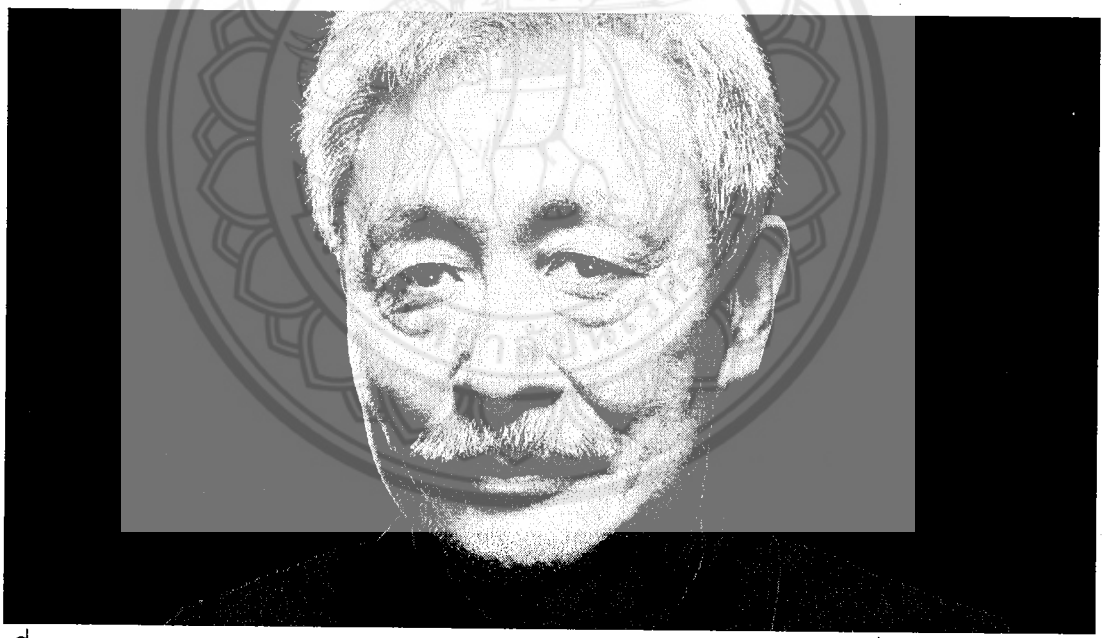
ภาพที่__กระบวนการพิมพ์สามมิติ เริ่มจากสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ ก่อนจะส่งไปยังเครื่องพิมพ์เพื่อสร้างชิ้นงาน ที่มา : https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/what-is-3d-printing

3D Printing มีชื่อเรียกอีกอย่างคือ Additive Manufacturing มีรากมาจากคำว่า 'Add' ซึ่งคือการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการเติมเนื้อวัสดุทีละชั้นๆ จนได้ออกมาเป็นวัตถุที่ต้องการ กระบวนการผลิตชนิดนี้ได้ฉีกแนวจากวิธีการแบบเดิมๆที่เรียกว่า Subtractive Manufacturing ที่เป็นการสกัดเนื้อวัสดุออกจนได้เป็นรูปร่างของวัตถุที่ต้องการผลิต โดยวิธีการตัด กลึง ไส เจาะ เจียรไน เป็นต้น เครื่อง 3D Printer มีอยู่มากมายหลายประเภท ทั้งเครื่องที่ขึ้นรูปชิ้นงานจากวัสดุพลาสติก โลหะ เซรามิค ตั้งแต่ขนาดเล็กกว่าฝ่ามือไปจนถึงขนาดเท่าบ้านทั้งหลัง แต่ทุกประเภทมีหลักการทำงานเหมือนกัน นั่นก็คือการขึ้นรูปชิ้นงานทีละชั้นๆ ซ้อนกันจนกลายเป็นวัตถุที่ต้องการ เทคโนโลยี 3D Printing ที่แพร่หลายที่สุดคือ FDM (Fused Deposition Modeling) ซึ่งใช้วิธีละลายเส้นพลาสติกและฉีดพลาสติกขึ้นรูปเป็นวัตถุทีละชั้น

Hannah (2016) Dr Kodama ได้รับการยอมรับว่าเป็นผู้ที่พยายามในการพิมพ์ 3มิติ ครั้งแรกของโลกจากการพัฒนาเทคนิคการสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็วในปี ค.ศ. 1980 เขาเป็นคนแรกที่อธิบายถึงวิธีการสร้างเลเยอร์ด้วยเลเยอร์สำหรับการผลิต เขาเปรียบเป็นบรรพบุรุษของเทคโนโลยี SLA คือการทำให้เรซินที่ถูกฉายแสงแข็งตัวและกลายเป็นโพลีเมอร์ น่าเสียดายที่เขาไม่ได้ยื่นขอสิทธิบัตรก่อนวันครบกำหนด สอดคล้องกับ Luke

Dormehl(2018para.3) ที่ได้ให้ข้อมูลว่า ในเดือน พ.ค. 1980 Dr.Hideo Kodama จากสถาบันวิจัยอุตสาหกรรมแห่งเมืองนาโกย่าได้ยื่นขอจดสิทธิบัตรครั้งแรกเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้โดยอธิบายถึงระบบต้นแบบแบบฟ็อกเมอร์เมอร์ (Rapid Prototyping System) ความคิดของ Kodama เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุโฟมโพลิเมอร์ ที่สัมผัสกับแสงยูวีเพื่อที่จะให้ชิ้นส่วนแข็งตัว แต่น่าเสียดายที่เขาไม่เคยทำการค้ามัน

Capucine Lonjon(2017) ได้ศึกษาข้อมูลแล้วพบว่า Dr. Hideo Kodama จากสถาบันวิจัยอุตสาหกรรมแห่งเมืองนาโกย่าเป็นหนึ่งในคนกลุ่มแรก ๆ ที่ได้คิดค้นวิธีการบ่มเลเซอร์ด้วยแสงเดียว เขายื่นขอรับสิทธิบัตรสำหรับระบบสร้างต้นแบบแบบรวดเร็วในญี่ปุ่นในเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ.1980 เขาอธิบายระบบของเขาดังต่อไปนี้ photopolymer ในถังสัมผัสกับแสงยูวีจนถึงที่จุดแข็งตัวและสร้างขึ้นรูปแบบชั้น แต่เนื่องจากปัญหาการระดมทุนข้อกำหนดเกี่ยวกับสิทธิบัตรฉบับเต็มจึงไม่ครบถ้วนภายในกำหนดเวลาหนึ่งปีหลังจากการสมัคร เพื่อสนับสนุนการทดลองของเขา Dr Kodama ได้เขียนบทความพื้นฐานสองเรื่องในการสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว การแสดงข้อมูลสามมิติโดยการจัดทำแบบจำลองสามมิติโดยอัตโนมัติ: เขาอธิบายงานของเขาในรายละเอียดและการทดลองทั้งหมดที่นำเขาไปสู่การตั้ง STEREOLITHOGRAPHY (SLA) ว่าเป็นวิธีการสร้างแบบจำลองพลาสติกสามมิติแบบอัตโนมัติด้วยโพลิเมอร์ PhotoHardening



ภาพที่__ Dr.Hideo Kodama จากสถาบันวิจัยอุตสาหกรรมแห่งเมืองนาโกย่าเป็นหนึ่งในคนกลุ่มแรก ๆ ที่ได้คิดค้นวิธีการบ่มเลเซอร์ด้วยแสงเดียว.

ที่มา:https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies

Capucine Lonjon (2017) ปี ค.ศ.1984-1986 ทีมจากฝรั่งเศสได้คิดสร้าง STEREOLITHOGRAPHY (SLA) ความคิดที่เกิดในโรงอาหารของ Jean-Claude André จากศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์แห่งชาติฝรั่งเศสที่มีชื่อเสียงมาก CNN Alain le Méhauté จาก CGE, Alcatel เดิม และ Olivier de Wiite จาก Cilas , ในขณะที่ Alain

le Méhauté วิศวกรไฟฟ้าหนุ่มกำลังทำการวิจัยขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับเรขาคณิตเศษส่วน เขาต้องสร้าง fractal object (วัตถุเศษส่วน) ซึ่งเขาอธิบายว่าเป็น วัตถุที่มีสรรพคุณในท้องถิ่นที่เทียบเท่ากับสมบัติของโลก ที่โรงอาหารเขาได้พูดคุยกับ Olivier de Witt เกี่ยวกับความคิดและปัญหาของเขาที่เขาต้องคิดค้นเครื่องที่สามารถสร้าง "วัตถุเศษส่วน" ของเขาด้วยความซับซ้อนทั้งหมดที่ต้องใช้ Olivier de Witt เคยทำงานเกี่ยวกับเลเซอร์สำหรับ Cilas ซึ่งเป็น บริษัท ในเครือของ Alcatel Olivier de Witt บอกกับเขาว่าเมื่อเลเซอร์สองตัวข้ามกันและกัน จากของเหลว (monomer) สามารถกลายเป็นของแข็ง (polymer) พวกเขาเพิ่งคิดจะสร้างเครื่องพิมพ์ 3D โดยจะจะใช้เลเซอร์ในการสร้างวัตถุ แต่การทดลองครั้งแรกของพวกเขาไม่ได้ข้อสรุป พวกเขาจึงนำเสนอแนวคิดนี้กับ Jean-Claude Andréซึ่งเป็นนักวิจัยที่ CNRS เขามาพร้อมกับแนวคิดในการสร้างเลเยอร์วัตถุโดยเลเยอร์ จากช่วงเวลานี้ชายทั้ง 3 คนเริ่มทำงานร่วมกันเพื่อสร้าง "เครื่องพิมพ์ 3D" วัตถุชิ้นแรกที่พวกเขาสร้างขึ้นคือ บันไดวนแบบเกลียว พวกเขายื่นจดสิทธิบัตรสำหรับกระบวนการสเตอริโอ สามสัปดาห์ก่อน American Chuck Hull ที่สร้างระบบการพิมพ์ 3D สิทธิบัตรฝรั่งเศสได้รับในเดือนมกราคมปี 1986 Stereolithography (SLA) ให้ชื่อเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อ . (SLT ไฟล์นามสกุล.) แต่น่าเสียดาย CNRS ไม่ได้ใช้ความคิดของพวกเขาอย่างจริงจัง พวกเขาคิดว่ามันไม่คุ้มค่าเพียงพอ มันจึงเป็นเรื่องยากมากสำหรับทั้ง 3 คน ที่จะหา fundings เพื่อสร้างเครื่องมืออันวิเศษของพวกเขา พวกเขาเสียใจมากที่ต้องเลิกโครงการ Alain Le Méhauté ต้องกลายเป็นครูใน Kazan, Russia Jean-Claude Andréเริ่มทำงานใน บริษัท เอกชนและ Olivier de Witt กำกับภาพยนตร์ ในประเทศฝรั่งเศส

ภาพที่__Alain le Méhauté and his fractal object

ที่มา : https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies

ในปี 1986: Chuck Hull คิดค้นเครื่อง stereolithography (SLA) เทคนิคการพิมพ์ 3D นี้หมายถึงวิธีการพิมพ์วัตถุเลเยอร์โดยเลเยอร์โดยใช้กระบวนการที่เลเซอร์สามารถเลือกทำให้โซ่ของโมเลกุลเชื่อมโยงกัน

สร้างโพลีเมอร์ได้ เขาได้สร้าง 3D Systems Corporation ซึ่งแนะนำระบบการพิมพ์ 3D เชิงพาณิชย์แบบแรกของโลก SLA-1 (Luke Dormehl,2018,para.4)

Carl Deckard จากมหาวิทยาลัยเท็กซัสเป็นผู้บุกเบิกวิธีการพิมพ์ 3D แบบอื่นซึ่งจะเปลี่ยนผงหลวมให้กลายเป็นของแข็งแทนที่จะใช้กระบวนการเรซินเหลวของ Chuck Hall วิธีการของ Deckard ในการพิมพ์แบบ 3D เกี่ยวข้องกับการใช้เลเซอร์ในการผูกผงเข้าด้วยกันเป็นของแข็ง เครื่องแรกของเขาเรียกว่า "เบ็ตซี่" เขาพัฒนามันจนถึงปี 2006 จนกว่าเครื่องพิมพ์ SLS ตัวแรกจะสามารถใช้งานได้ในเชิงพาณิชย์ซึ่งจะเปิดโอกาสใหม่ ๆ ในการผลิต (Luke Dormehl,2018,para.5)

ปี ค.ศ.1989: S. Scott Crump พร้อมด้วยภรรยาและเพื่อนนักประดิษฐ์ Lisa Crump ประดิษฐ์และจดสิทธิบัตรวิธีการผลิตแบบใหม่ที่เรียกว่า Fused Deposition Modeling เทคนิคนี้เกี่ยวข้องกับการหลอมเส้นใยโพลีเมอร์และวางลงบนวัสดุรองพื้นชั้นโดยชั้นเพื่อสร้างวัตถุ 3 มิติ ความคิดของเทคโนโลยีใหม่นี้ได้เกิดขึ้นกับ Crump ในปี ค.ศ. 1988 เมื่อเขาพยายามที่จะสร้างกบเพื่อเป็นของเล่นสำหรับลูกสาวโดยใช้ปืนกาวร้อนซึ่งบรรจุส่วนผสมของโพลิเอธิลีนและขี้ผึ้ง หลังจากความพยายามเพื่อทำมันด้วยตัวเอง เขาจินตนาการถึงวิธีการอัตโนมัติกระบวนการและสร้างรูปร่างโดยการสร้างชุดของชั้นบางซ้อนกันด้านบนของ แต่ละชั้น ต่อมา Crump ไปร่วมกับ Stratasys ซึ่งเป็นหนึ่งใน บริษัท ผู้ผลิตสารเติมแต่งที่โดดเด่นที่สุดในโลกในปัจจุบัน(Luke Dormehl,2018, “History of 3d printing milestones”,para.6)

8.3.2 ประโยชน์การพิมพ์ 3 มิติ

ในปี 2017 จำนวนยอดขาย 3D Printer ทั่วโลกพุ่งทะยานถึงเกือบ 500,000 เครื่อง เป็นอัตราการเติบโตถึง 52% เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า ซึ่งเป็นการเติบโตที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยในอุตสาหกรรมอื่นๆเป็นอย่างมาก แสดงให้เห็นถึงสมรรถภาพของ 3D Printer ที่ตอบโจทย์การใช้งานมากขึ้น และราคาอุปกรณ์ที่ถูกลง ในมุมธุรกิจบ้านเรา ผู้ประกอบการหลายท่านอาจยังไม่มั่นใจว่าจะใช้ประโยชน์จากเครื่อง 3D Printer ได้อย่างไร ในบทความนี้เราได้รวบรวมตัวอย่างการใช้งาน 3D Printer ในอุตสาหกรรม เพื่อเป็นไอเดียในการนำไปประยุกต์ใช้งาน (ผู้ดูแลระบบ,2561,ย่อหน้าที่1)

ทศทิป (2560) บริษัทสัญชาติฝรั่งเศส Schneider Electric SE คือ ผู้เชี่ยวชาญระดับโลก ในด้านการจ่ายกระแสไฟฟ้า การบริหารจัดการระบบอัตโนมัติ และการผลิตอุปกรณ์ติดตั้งสำหรับการบริหารจัดการด้านพลังงาน ซึ่งมีพนักงานมากกว่า 160,000 คน ให้บริการลูกค้าใน 100 ประเทศทั่วโลก โดยการให้ความช่วยเหลือในการบริหารจัดการด้านพลังงานของพวกเขา เพื่อให้มีความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือ

มีประสิทธิภาพ และยั่งยืน

ภาพที่_ อุปกรณ์นำพิมพ์ 3 มิติ (3D-PrintedJig) ถูกผลิตโดยการใช้ Stratasys Object Connex 3D Printer ช่วยให้การทดสอบการทำงาน และการทวนแบบที่จำเป็นในสายการผลิตทำได้อย่างรวดเร็ว

ที่มา : https://www.mmthailand.com/การพิมพ์-3-มิติ-ลดต้นทุน-stratasys/

ด้วยการยกระดับศักยภาพให้เป็นศูนย์กลางของการนำเสนอโครงการคุณค่า จนถึงลักษณะพื้นฐานทางด้านสังคมของบริษัททำให้ Schneider Electric มีความกระตือรือร้นในการแสวงหาหนทางของการปรับปรุงกระบวนการผลิตต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อทำให้บรรลุเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระยะสั้น และระยะยาว และอีกทั้งเพื่อช่วยให้บรรลุวัตถุประสงค์ บริษัทได้ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์แบบ 3 มิติ ของ Stratasys ในกระบวนการผลิตทั้งหมดของบริษัท ซึ่งตั้งอยู่ในเมือง Grenoble ประเทศฝรั่งเศส นับเป็นที่แรกในการใช้เทคโนโลยีมาตลอดหลายปีที่ผ่านมาในการสร้างแบบจำลองสำหรับโซลูชั่นใหม่ๆ

โดยแท้จริงแล้ว การดำเนินการดังกล่าวเป็นการต่อยอดเทคโนโลยีที่ในปัจจุบัน Schneider Electric ใช้ทำงานร่วมกันระหว่าง Stratasys Polyjet และโซลูชั่นการพิมพ์ 3 มิติ FDM ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และอุตสาหกรรม โดยประกอบไปด้วยแอปพลิเคชันจำนวนมาก เช่น การทำแม่พิมพ์แบบฉีดขึ้นรูป และงานในสายการประกอบ การออกแบบ และการผลิตที่ดำเนินการผ่านแผนกต้นแบบภายในของบริษัท และห้องปฏิบัติการแบบเปิดซึ่งการต่อยอดของเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ นี้ยังช่วยเติมเต็มวิสัยทัศน์ของบริษัทในการสร้างโรงงานแห่งอนาคต

การผสมผสานระหว่างการประหยัดเงินได้อย่างมหาศาลกับขั้นตอนการทำงานที่ได้รับการปรับปรุงให้ดีมากขึ้นสามารถเป็นไปได้โดยการใช้การพิมพ์ 3 มิติของ Stratasys ในกระบวนการ ซึ่งถูกใช้เพื่อเพิ่ม

ประสิทธิภาพการผลิตทั้งหมดของบริษัท และลดระยะเวลาในการปล่อยสินค้าสู่ตลาดในพื้นที่เป้าหมายหลักลงได้เป็นอย่างดี

"ปีนี้ Schneider จะออกโซลูชั่นใหม่ประมาณ 400 โซลูชั่น ซึ่งเรียกได้ว่าเกิน 1 โซลูชั่นต่อวัน" Sylvain Give รองประธานด้านการเปลี่ยนรูปแบบในการพัฒนาอุตสาหกรรม GSC ของ Schneider Electric กล่าว "ดังนั้น มันเป็นเรื่องที่จำเป็นอย่างยิ่งที่พวกเราต้องปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีที่ช่วยให้เราลดระยะเวลาในการออกสินค้าสู่ตลาด"

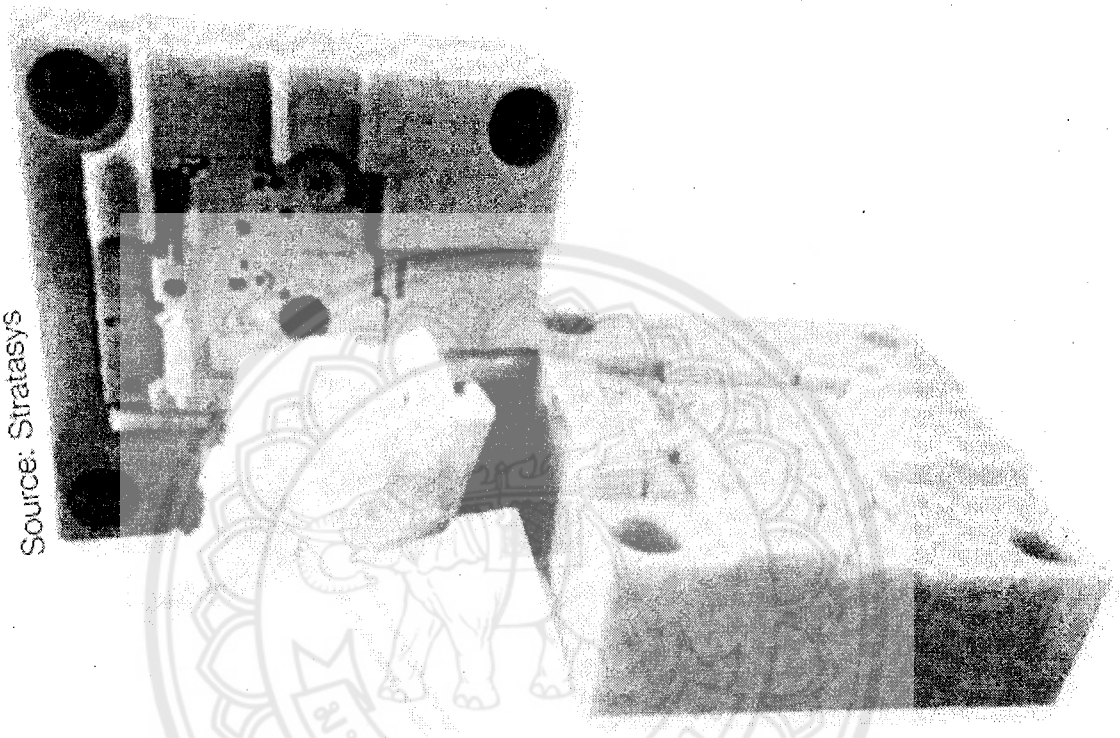
ภาพที่__Schneider Electric ใช้ประโยชน์จากความสามารถของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Stratasys สำหรับการทำต้นแบบ และแอปพลิเคชันการผลิตต่างๆ ปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต และลดต้นทุนและระยะเวลาของการผลิต

ที่มา : https://www.mmthailand.com/การพิมพ์-3-มิติ-ลดต้นทุน-stratasys

การใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติเพื่อออกแบบและปรับปรุงด้านวิศวกรรมของสายการประกอบจะช่วยประหยัดเวลาสำหรับบริษัทในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่พร้อมใช้งาน โดยมี Connex ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่รองรับหลากหลายวัตถุดิบจาก Harnessing Stratasys มี Yann Sittarame ผู้จัดการแผนกและเพื่อนร่วมทีมสามารถทำการผลิตเครื่องมือต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตตัวใหม่ในเวลาเพียงหนึ่งสัปดาห์ ใน

อดีตอาจต้องใช้เวลาอย่างน้อย 3 สัปดาห์ ในการสร้างเครื่องมือชิ้นเดียวกันจากเครื่อง CNC ซึ่งสามารถประหยัดเวลาลงไปได้ถึง 70%

"เทคโนโลยีนี้ได้เปลี่ยนวิธีการทำงานของเราและวิธีคิดสำหรับการทำสิ่งต่างๆ ในอนาคต" Yann อธิบาย "เมื่อมองไปข้างหน้า เราวางแผนในการใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่พร้อมใช้งานซึ่งเหมาะกับความแม่นยำและทนทานจากกระบวนการพิมพ์ 3 มิติของเราอย่างหาที่เปรียบไม่ได้"



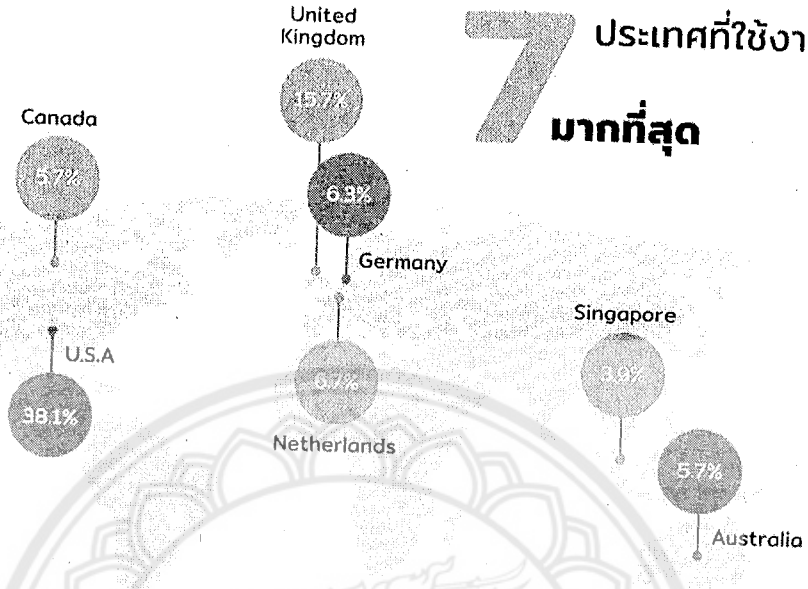
ภาพที่__แม่พิมพ์แบบฉีดขึ้นรูปที่ถูกพิมพ์ด้วยการพิมพ์ 3 มิติ และชิ้นงานที่ได้ถูกผลิตด้วย Stratasys Connex 3D Printer การใช้การพิมพ์ 3 มิติ Schneider Electric เล็งเห็นถึงประสิทธิภาพในการประหยัดต้นทุน และเวลาได้สูงถึง 90%

ที่มา : https://www.mmthailand.com/การพิมพ์-3-มิติ-ลดต้นทุน-stratasys/

ในตอนนี้บริษัทได้ดำเนินการตามแนวคิดของ Sylvain Gire เพื่อสนับสนุนโซลูชั่นจากการทำงานของ Stratasys เพื่อพัฒนากระบวนการใช้เครื่องมือที่มีศักยภาพดีกว่าสำหรับการผลิตจำนวนไม่มากนักในส่วนของผลิตภัณฑ์ใหม่ นอกเหนือจากนี้ สำหรับการไปให้ถึงเป้าหมายสูงสุดสำหรับโรงงานแห่งอนาคต Schneider Electric วางแผนที่จะสำรวจโอกาสของการใช้งานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Stratasys สำหรับผลิตภัณฑ์ที่พร้อมใช้ เช่น ชิ้นส่วนอะไหล่ หรือการผลิตที่ต้องการปริมาณไม่มากนัก

ทศทิป (2561) ปัจจุบันเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ หรือ 3D Printer นั้นได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีการใช้งานอย่างหลากหลายไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนต้นแบบ ชิ้นส่วนเฉพาะ หรือแม้แต่ชิ้นส่วน

Customize ซึ่งตอบสนองต่อความต้องการในกลุ่มอุตสาหกรรมที่หลากหลาย แต่ประเทศไหนคือผู้นำในการใช้ 3D Printing?



ภาพที่__ 7 ประเทศที่มีการใช้งาน 3D Printing มากที่สุดในปัจจุบัน

ที่มา : https://www.mmthailand.com/7-ประเทศที่ใช้-3d-printingสูงสุด/

สหรัฐอเมริกานั้นเป็นประเทศที่มีการใช้งาน 3D Printing มากที่สุดในปัจจุบัน คิดเป็น 38.1% จากการใช้งานทั้งหมด และประเทศที่มีการใช้งาน 3D Printing มากที่สุด 7 ประเทศ ได้แก่

1. สหรัฐอเมริกา
2. สหราชอาณาจักร
3. เนเธอร์แลนด์
4. เยอรมนี
5. แคนาดา
6. ออสเตรเลีย
7. สิงคโปร์

โดยเมืองสำคัญที่เป็นปัจจัยผลักดันในสัดส่วนดังกล่าวได้แก่ New York และ London ที่เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับ 2 ลำดับแรก

8.3.3 เครื่องพิมพ์ต้นแบบ 3มิติ

Chuck Hull จบการศึกษาจาก Central High School ใน Grand Junction รัฐโคโลราโดและได้รับปริญญาตรีด้านฟิสิกส์วิศวกรรมจาก University of Colorado ในปี ค.ศ.1961 ปัจจุบันเขามีสิทธิบัตร 93 แห่งในสหรัฐอเมริกาและอีก 20 แห่งในยุโรป ในปี ค.ศ.1983 Chuck Hull กำลังทำงานให้กับ บริษัท ที่ทำสีเคลือบแข็งสำหรับโต๊ะและเฟอร์นิเจอร์โดยใช้หลอดรังสีอัลตราไวโอเลต เช่นเดียวกับคนอื่น ๆ ในอุตสาหกรรม เขารู้สึกผิดหวังที่การผลิตชิ้นส่วนพลาสติกขนาดเล็กสำหรับการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ใหม่อาจใช้เวลาถึงสองเดือน เขาแนะนำว่าพวกเขาจะตรวจสอบวิธีการใหม่ในการใช้เทคโนโลยีรังสียูวี: วางแผ่นพลาสติกบาง ๆ ไว้หลายพันเส้นบนผิวของแต่ละอื่น ๆ ด้วยเทคโนโลยีรังสีอัลตราไวโอเลต โชคดีที่เขาได้รับห้องปฏิบัติการเพียงเล็กน้อยเพื่อทดสอบความคิดของเขาสิ่งที่เขาทำในช่วงเย็นและวันหยุดสุดสัปดาห์ คืนหนึ่งหลังจากหลายเดือนของการทดลองเขาก็สามารถพิมพ์สิ่งต่างๆได้ ... ความตื่นเต้นของเขาสูงมากจนทำให้ภรรยาของเขารีบตื่นขึ้นสิ่งเดียวที่เธอพูดคือ "สิ่งนี้ดีขึ้น!" ตามที่ Hull ความเป็นไปได้ทางการแพทย์และการเคลื่อนไหวของผู้ผลิตทำให้การพิมพ์แบบ 3D ปิดลง หลังจากที่ได้รับสิทธิบัตรสำหรับวิธีการผลิตแบบใหม่นี้อย่างรวดเร็วหลังจากนั้นเขาได้ตั้งระบบ 3D เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ในการค้นพบใหม่ของเขา
ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ชิ้นแรกออกมาในปี พ.ศ. 2531 Hull มีสัญชาตญาณเทคโนโลยีนี้จะใช้เวลาระหว่าง 25 ถึง 30 ปีเพื่อหาทางผลิต ในแง่ของวัสดุการพิมพ์ 3D เขาใช้วัสดุที่เรียกว่า 'photopolymers' อะคริลิคเป็นของเหลวที่จุดเริ่มต้นของกระบวนการ การยิงแสงอัลตราไวโอเลตทำให้พวกเขากลายเป็นของแข็งได้ทันที

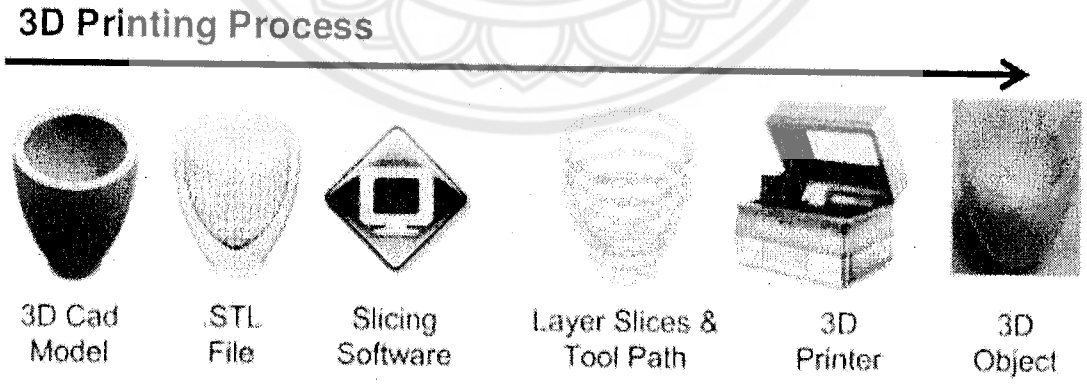
Carl Deckard ผู้เป็นบิดาของเทคโนโลยี Selective Laser Sintering (SLS) เมื่ออายุได้ 8 ขวบเมื่อไปเยี่ยมชมพิพิธภัณฑ์ Henry Ford Carl Deckard ตัดสินใจว่าเขาต้องการเป็นนักประดิษฐ์ เขาเป็นศาสตราจารย์ด้านวิศวกรรมเครื่องกลที่มหาวิทยาลัยเท็กซัสเมื่อตอนที่เขามาทำงานที่ค่ายฤดูร้อนด้วยแนวคิดเทคโนโลยีการพิมพ์แบบ 3D ที่น่าทึ่งคือการเลือกใช้เลเซอร์สไปรท์ (SLS) ในช่วงค่ายฤดูร้อนนี้เขากำลังทำงานอยู่ที่ร้านเครื่องเหล็ก (TRW) ใน Houston ซึ่งทำอะไหล่สำหรับทุ่งน้ำมัน เครื่อง TRW นี้ใช้งานได้โดยใช้ CAD

ต่อไป เขาต้องการทำให้กระบวนการนี้เป็นแบบอัตโนมัติ เขาคิดว่าถ้าปืนกาวที่ติดอยู่กับระบบโรยตัว XYZ ของหุ่นยนต์กระบวนการสร้างแบบจำลองสามารถทำได้โดยอัตโนมัติ ... เทคโนโลยีการสร้างแบบจำลองการสะสมตัวของหลอมเกิดขึ้น ในขณะที่เขากำลังดำเนินการต่อไปในการทดลองของเขาภรรยาของเขาแนะนำให้เขาเปลี่ยนความหลงใหลในธุรกิจหรือให้มันขึ้น เขากับภรรยาของเขา Lisa Crump ได้รับสิทธิบัตรเทคโนโลยี FDM ในปี 1989 ในปี 1992 Scott ได้สร้างเครื่องพิมพ์ FDM 3D เครื่องแรกขึ้น ไม่นานหลังจากนั้นเขาและภรรยาของเขาลิซ่าร่วมก่อตั้ง บริษัท Stratasys วันนี้เขาเป็นประธานกรรมการของ Stratasys, Ltd

นัฐวัฒน์ (2558) 3D printer คือเครื่องจักรที่ใช้กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปร่างที่สามารถจับต้องได้ตามที่ต้องการ โดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบดิจิตอล ซึ่งการเติมเนื้อหรือพิมพ์วัสดุลงไปนั้นเรียกว่า Additive Process ซึ่งการพิมพ์นั้นจะค่อยเป็นไปทีละ Layer หรือทีละชั้น ยกตัวอย่าง ถ้าเราต้องการสร้างตึกที่มีจำนวน 25 ชั้น เราก็ต้องเริ่มสร้างจากฐานรากก่อน แล้วค่อยๆ ต่อเสาขึ้นไปทีละชั้น ซึ่งก็เป็นหลักการเดียวกับการพิมพ์งานของ เครื่องปริ้น 3 มิติ

เครื่องพิมพ์ 3 มิตินั้นก่อนที่จะพิมพ์งานได้ ต้องมีข้อมูลในรูปแบบของ Digital ซึ่งสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำพวก CAD (Computer Aided Design) ในการออกแบบ นอกจากจะใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบแล้ว ยังสามารถใช้ สแกนเนอร์ 3 มิติ ในการเปลี่ยนวัตถุในโลกความจริงไปเป็นไฟล์ดิจิตอล ที่สามารถนำไปใช้งานกับ 3D printe

เมื่อได้โมเดลหรือชิ้นงานในรูปของไฟล์ดิจิตอลแล้ว ก็จะนำไฟล์นั้นไปทำการ Slice หรือตัดเลเยอร์งานออกมาให้เป็นแผ่นบางๆ เพื่อที่จะให้ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ พิมพ์แผ่นหรือชั้นบางๆ นั้นทับต่อกัน จนเกิดเป็นวัตถุ 3 มิติขึ้นมา ถ้ายังนึกไม่ออก ลองนึกถึง ก้อนขนมปังก้อนยาวๆ แล้วถูกหั่นเป็นแผ่นบางๆ ซึ่งถ้าเราเอาแผ่นบางๆ มาวางซ้อนกันแล้วทาแยม ลงระหว่างแผ่นขนมปัง ก็จะทำให้เกิดเป็นขนมปังก้อนยาว ก้อนเดียว ซึ่งตัวแยมนั้น ก็เปรียบเสมือนกาว ที่เอาไว้ยึดระว่างแผ่นขนมปัง



ภาพที่__กระบวนการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3มิติ

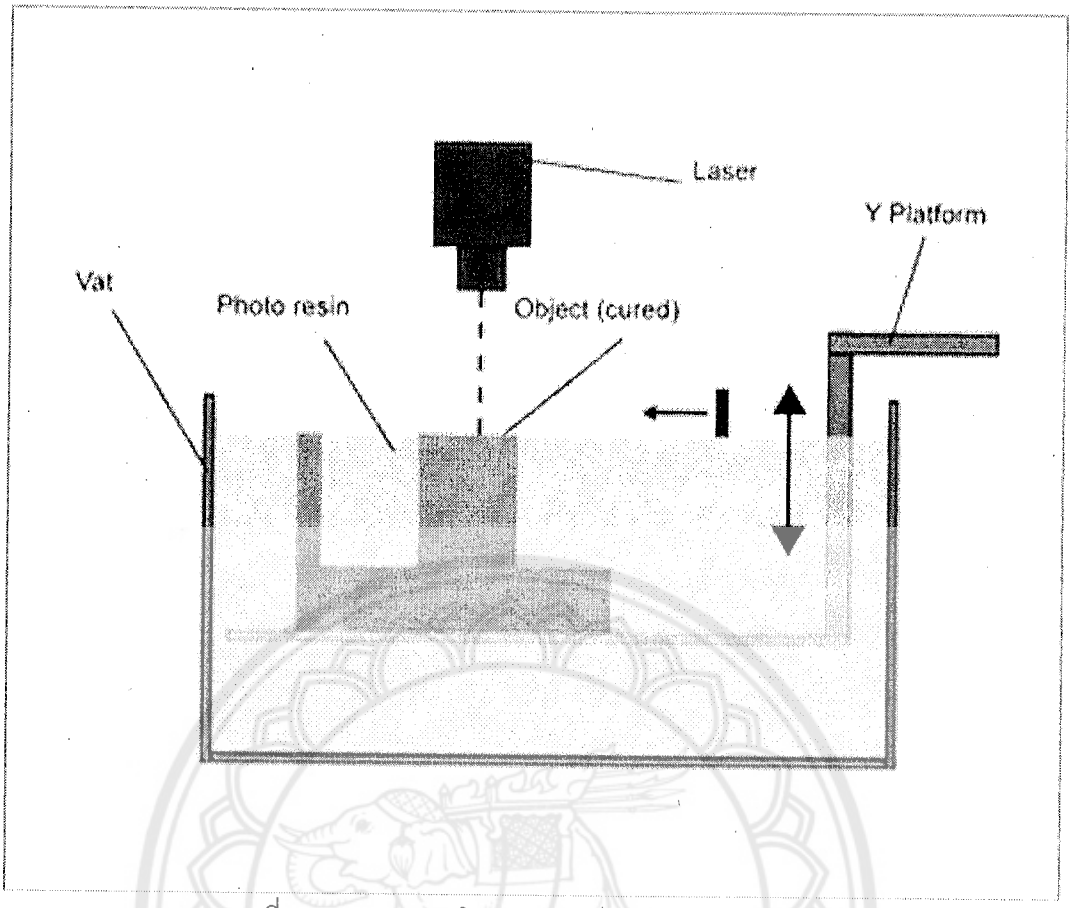
ที่มา : https://www.siamreprap.com/2015/10/what-is-3d-printer/

เทคโนโลยี 3D Printer

เทคโนโลยีของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ นั้นจะใช้หลักการเดียวกัน คือตัดหรือ Slice งานเป็นแผ่นบางๆ แล้วพิมพ์แผ่นนั้นซ้อนทับกันไปเรื่อยๆ ซึ่งข้อแตกต่างระหว่างเทคโนโลยีแต่ละตัวนั้น จะต่างกันในส่วนของวัสดุที่ใช้พิมพ์ และกระบวนการในการพิมพ์ เทคโนโลยีของ 3D printer นั้นสามารถแบ่งออกมาได้ดังนี้

- Vat Photopolymerisation
- Material Jetting
- Binder Jetting
- Material Extrusion
- Powder Bed Fusion
- Sheet Lamination
- Directed Energy Depostion

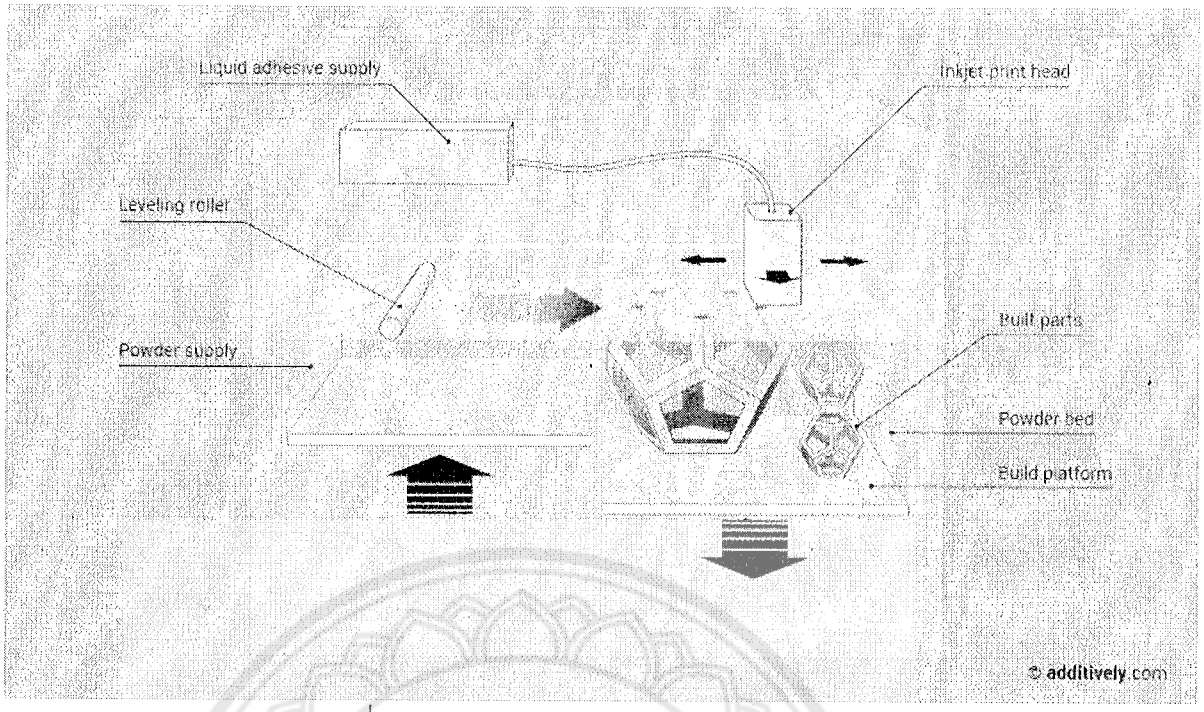
Vat Photopolymerisation เทคโนโลยีนี้ เป็นการใช้เรซิ่นที่มีความไวต่อแสง UV เทลงในถาด แล้วใช้แสง UV ในการทำให้เรซิ่นแข็งตัว ซึ่งแหล่งของแสง UV นั้นมาอาจจะมาจาก เลเซอร์หรือหลอดไฟ UV เทคโนโลยีถูกคิดค้นโดย Charles Hull ในปี 1986 ซึ่งถือว่าเป็นบิดาแห่งวงการ 3D Printer และยังคงเป็นผู้ก่อตั้งบริษัท 3D System ที่เป็นบริษัทที่ขาย เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในปัจจุบัน การทำงานของเทคโนโลยีนี้เรียกว่า SLA หรือ Stereolithography ?หลักการคือการฉายภาพวัตถุที่ถูก Slice หรือตัดเป็นแผ่นบางๆ ลงไปในเรซิ่นที่มีความไวต่อแสง UV เรซิ่นจะแข็งตัว เป็นภาพที่ถูกฉาย เมื่อแข็งตัว ถาดจะยกขึ้น ตามค่าความละเอียดที่กำหนด แล้วเริ่มทำการฉายภาพในชั้นต่อไป ซึ่งตัวเรซิ่นจะเชื่อมต่อกันไปเรื่อยๆ จนเกิดเป็นวัตถุ 3 มิติขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีนี้ ก็เหมือนกับการปั้นน้ำเป็นตัว.



ภาพที่__กระบวนการทำงานของ Vat Photopolymerisation

ที่มา:http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/

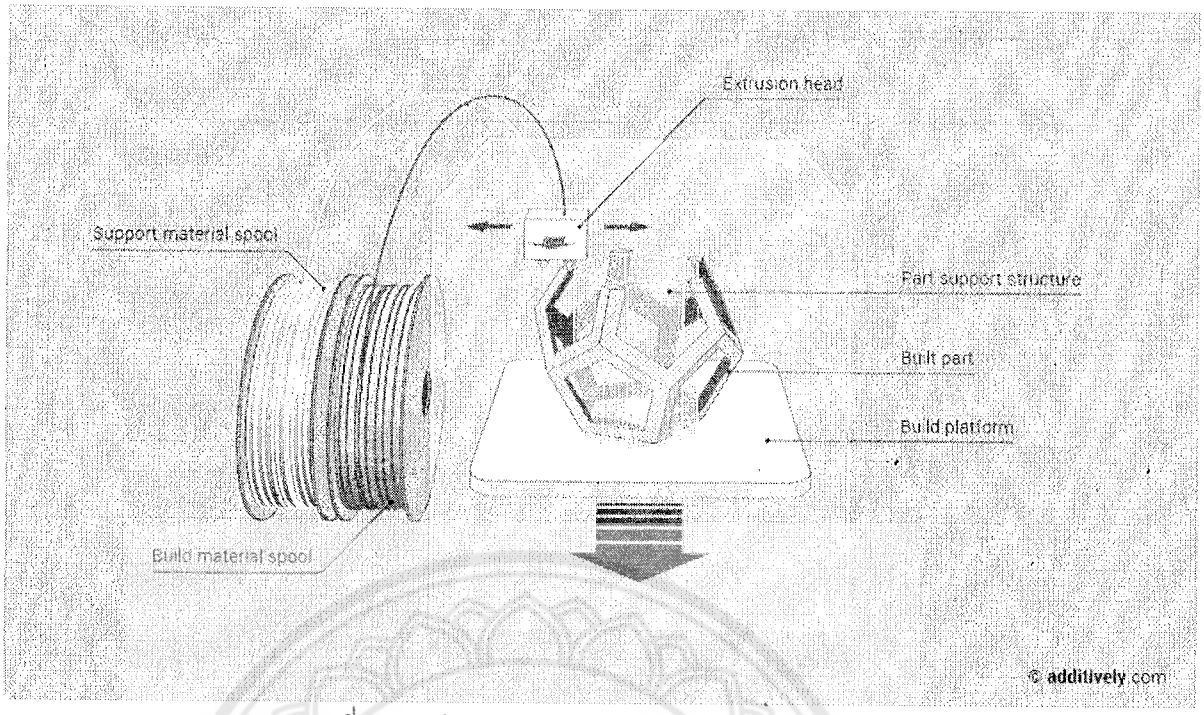
Material Jetting เป็นวิธีการพิมพ์เหมือนกับการพิมพ์เอกสาร โดยน้ำหมึกที่ใช้ในการพิมพ์นั้น เป็นน้ำหมึกที่มีส่วนผสมของพลาสติก ซึ่งหัวพิมพ์นั้น จะคล้ายกับหัวพิมพ์ ของเครื่องพิมพ์กระดาษ ตัวน้ำหมึกนั้นจะถูกทำให้แข็งตัวโดยหลอดไฟ UV ?ซึ่งก่อนที่จะพิมพ์ในชั้นต่อไป จะมีหลอด UV วิ่งผ่านเพื่อให้หมึกแข็งตัวก่อน ที่จะพิมพ์ชั้นต่อไป



ภาพที่__การทำงานของระบบ Material Jetting

ที่มา: https://www.additively.com/en/learn-about/binder-jetting

Material Extrusion เทคโนโลยีนี้ถือว่าเป็นเทคโนโลยี ที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด เพราะราคาที่จับต้องได้ ชื่อเรียกของเทคโนโลยีนี้เรียกว่า FDM (Fuse Deposition Material) เทคโนโลยี 3D Printer ชนิดนี้ ถือว่าเป็นที่รู้จักมากที่สุดกว่าว่าได้ เพราะเป็น Open Source ที่เหล่านักสร้าง สามารถนำไปสร้างเครื่องโดยไม่ติดลิขสิทธิ์ โดยเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ FDM ที่เป็นที่รู้จักในตลาดมากที่สุดคือ Makerbot หลักการทำงานของเทคโนโลยีนี้ก็คือ การฉีดเส้นวัสดุที่มีความหนืด ออกมาจากหัวฉีดที่มีขนาดเล็ก ทับซ้อนกันไปเรื่อยๆ จนเกิดเป็นรูปวัตถุ 3 มิติขึ้นมา วัสดุที่นิยมใช้กับ เทคโนโลยีนี้คือ พลาสติกจำพวก Thermal Plastic เช่น ABS Nylon PLA PET เป็นต้น ซึ่งพลาสติกแต่ละชนิดจะให้คุณสมบัติของชิ้นงานที่พิมพ์แตกต่างกัน สำหรับเทคโนโลยีนี้ จะกล่าวในบทความต่อไป เพราะเป็นเทคโนโลยี ที่ทำให้ 3D printer นั้นเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน



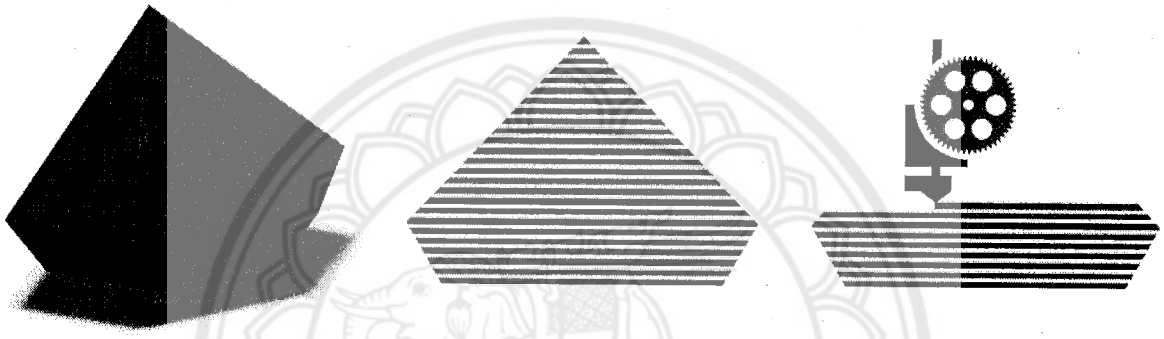
ภาพที่__การทำงานของระบบ Material Extrusion

ที่มา: https://www.additively.com/en/learn-about/fused-deposition-modeling

Power Bed Fusion หลักการของเทคโนโลยีนี้คือ ใช้วัสดุที่เป็นผง แล้วใช้เลเซอร์ที่มีกำลังสูงยิงลงไปบนวัสดุที่เป็นผงให้เกิดการเชื่อมติดกันอย่างหลวมๆ ที่เรียกว่า Sinter ซึ่งเทคโนโลยีนี้มีอีกชื่อ SLS หรือ Selective Laser Sintering ซึ่งวิธีนี้สามารถนำมาใช้ในการพิมพ์วัสดุที่เป็นโลหะ หรือพลาสติก ซึ่งพลาสติกที่นิยมใช้จะเป็นจำพวก Nylon ซึ่งมีความเหนียวและแข็งแรง การพิมพ์วิธีนี้จะคล้ายกับเทคโนโลยี Binding Jetting ซึ่งไม่จำเป็นที่จะต้องสร้างตัวรองรับงานหรือ Support เหมือนกับเทคโนโลยีอื่นๆ เพราะตัวผงวัสดุจะทำหน้าที่เป็นตัวรองรับชิ้นงานเอง เมื่อพิมพ์เสร็จแล้วจะต้องนำชิ้นงานเข้าไปใส่ในตู้อบความร้อย เพื่อให้ชั้นต่างๆ ที่พิมพ์นั้นเชื่อมติดกันได้

Sheet Lamination เทคนิคนี้เป็นการขึ้นรูปโดยการใช้วัสดุที่เป็นแผ่นวางซ้อนกันไปเรื่อยๆ จนเกิดเป็นชิ้นงาน 3 มิติ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ที่ใช้วิธีนี้ ได้แก่ Mcor ซึ่งวัสดุที่ใช้เป็น Sheet หรือแผ่นนั้นเป็นกระดาษธรรมดา ซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะพิมพ์งานออกมาเป็นสีได้ โดยเอากระดาษไปพิมพ์สีออกมาก่อน ซึ่ง Software จะคำนวนว่าจะพิมพ์สีตรงไหน เมื่อเสร็จให้นำกระดาษที่พิมพ์เสร็จใส่เข้าเครื่องพิมพ์ เครื่องก็จะเริ่มดึงกระดาษเข้ามาทีละแผ่น แล้วใช้มีดตัดให้เป็นรูปร่างตามชิ้นงานที่ Slice แล้ว หลังจากนั้นตัวเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ก็จะเริ่มดึงกระดาษแผ่นต่อไป ผ่านระบบทากาว ของเครื่อง แล้วนำมาแปะบนกระดาษที่ได้ตัดเอาไว้ก่อนหน้านี้ กระบวนการก็จะวนแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนได้ชิ้นงาน 3 มิติออกมา

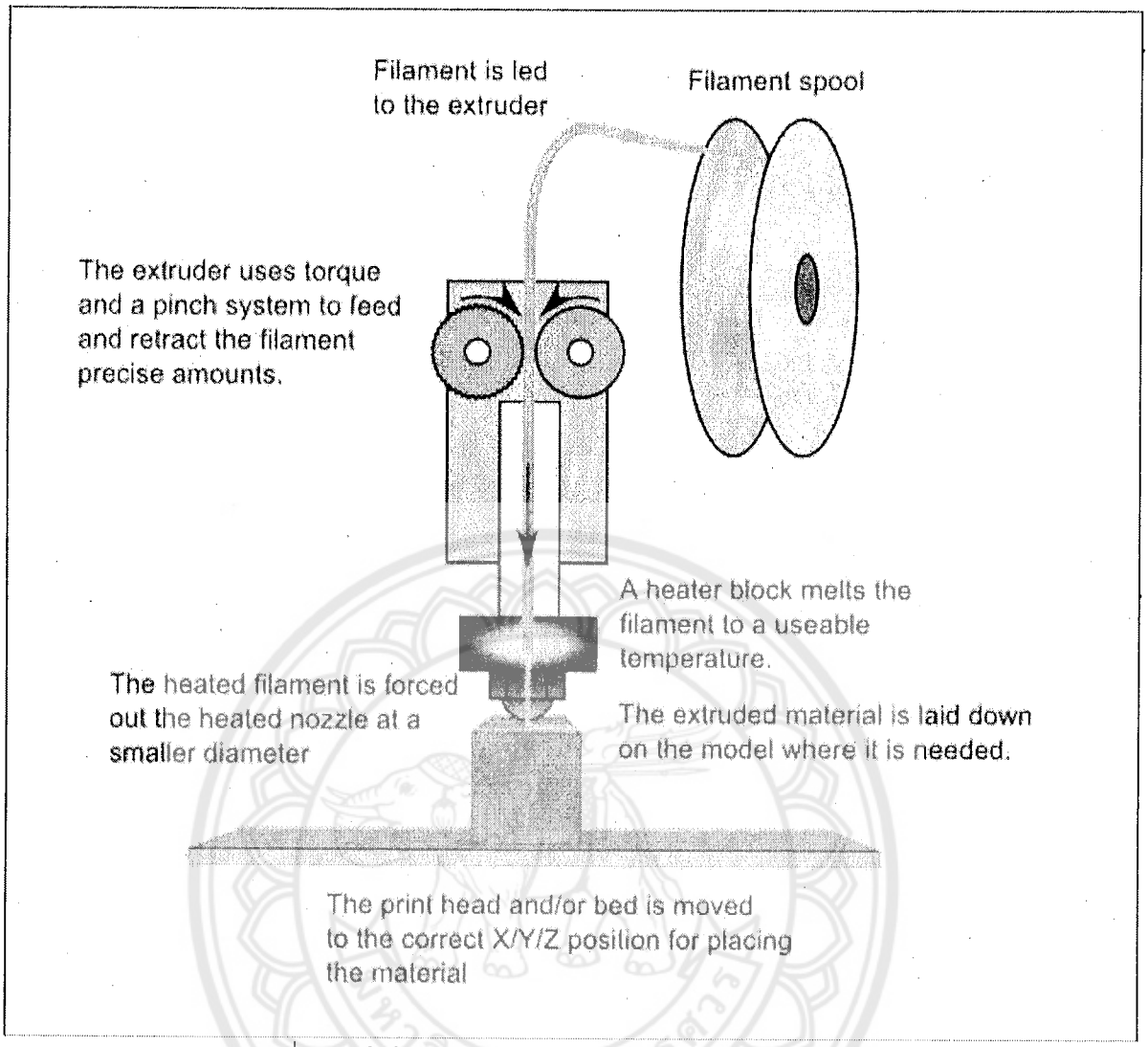
ทศธิป (2559) เทคโนโลยีเครื่องพิมพ์สามมิติหรือ 3D Printer มีอยู่หลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นการฉีดเส้นพลาสติก การใช้เลเซอร์เชื่อมเรซิ่นหรือผงไนล่อนให้เป็นชิ้นงาน แต่เทคโนโลยีที่แพร่หลายที่สุดในปัจจุบันก็คือ FDM หรือ Fused Deposition Modeling (ผู้ผลิตบางรายเรียกว่า FFF = Fused Filament Fabrication หมายถึงสิ่งเดียวกัน) หลักการทำงานของ FDM เริ่มจากการวาดโมเดลสามมิติ (ไฟล์ 3D CAD) ในคอมพิวเตอร์ก่อน เมื่อได้ไฟล์ชิ้นงาน 3D มาแล้วก็นำไปเข้าโปรแกรม CAM ที่เรียกว่าโปรแกรม Slicer ซึ่งจะทำการหั่นหรือ “slice” โมเดลสามมิติเป็นแผ่นๆ หรือ layer และสร้างชุดคำสั่ง (เรียกว่า G-code) เพื่อบอกเครื่อง 3D Printer ว่าชิ้นงานนี้ต้องพิมพ์อย่างไร โดยเราสามารถกำหนดค่าการพิมพ์ต่างๆในซอฟท์แวร์ได้ เช่น ความละเอียดของการพิมพ์ วัสดุที่ใช้ ความเร็วในการพิมพ์ เป็นต้น



ภาพที่__ภาพแสดงกระบวนการ 3D printing

ที่มา : https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/fdm-3d-printing

หลังจากที่ทำการหั่นไฟล์เป็น layer และกำหนดค่าต่างๆเรียบร้อย เราก็สามารถส่งคำสั่งไปที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติเพื่อเริ่มต้นการพิมพ์ เครื่องพิมพ์จะทำการหลอมละลายเส้นพลาสติกที่ feed เข้าไปในเครื่อง และฉีดเส้นพลาสติกลงบนฐานพิมพ์ โดยหัวฉีดจะเคลื่อนที่ไปตามรูปทรงของ layer นั้นๆ หลังจากที่เสร็จจาก layer แรกแล้วก็จะทำการฉีด layer ถัดไปซ้อนกัน กระบวนการนี้จะทำซ้ำไปเรื่อยๆจนได้เป็นวัตถุที่เราต้องการ จะเห็นได้ว่ากระบวนการนี้เหมือนการวาดรูปสองมิติหลายๆแผ่นแล้วนำมาวางซ้อนกันจนได้เป็นชิ้นงานสามมิติ

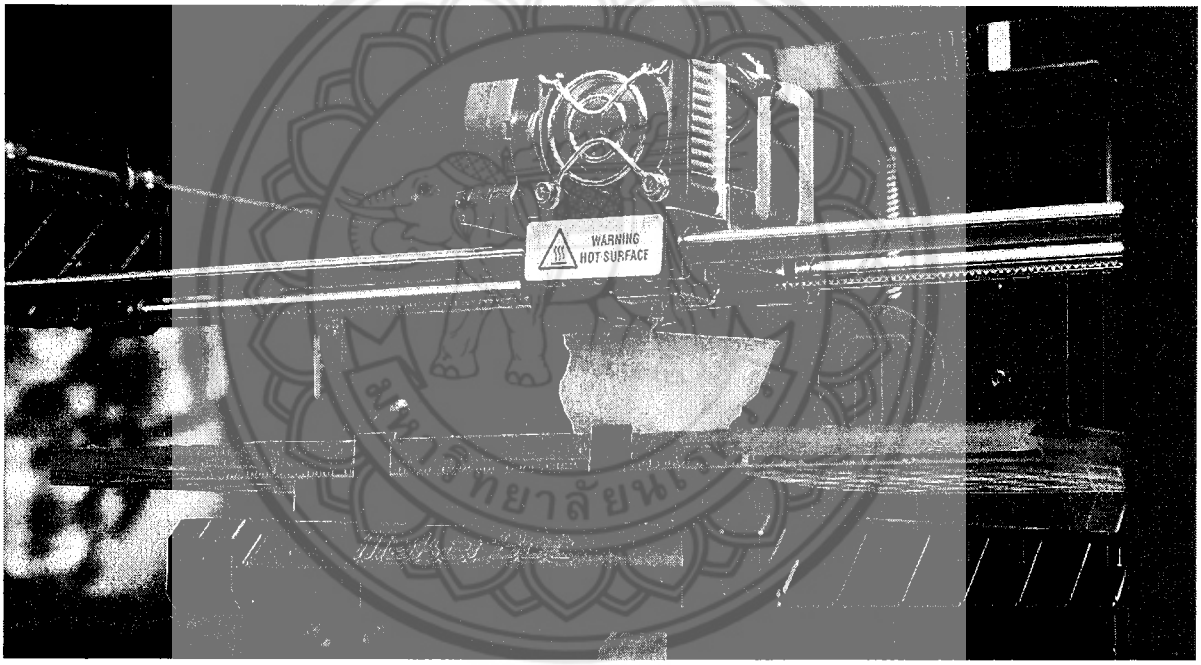


ภาพที่__เทคโนโลยีระบบ FDM (Fused Deposition Material)

ที่มา : https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/fdm-3d-printing

นัฐวัฒน์ (2558) 3D printer ระบบ FDM (Fused Deposition Material) ถือว่าเป็น เครื่องพิมพ์ 3 มิติที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในตอนนี้ เพราะว่า เป็น เครื่องพิมพ์ 3 มิติ?ที่มีคนนำมาสร้างและเผยแพร่วิธีการสร้างมากที่สุด เนื่องจากลิขสิทธิ์ 3D printer ระบบนี้ได้หมดอายุลง ทำให้สามารถสร้างและผลิตได้โดยไม่มีข้อผูกมัดทางด้านลิขสิทธิ์ ซึ่ง เครื่องปริ้น 3 มิติ ระบบนี้สามารถสร้างได้ง่ายและไม่ยากมาก ทำให้ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ?ระบบนี้เป็นที่นิยม มากในปัจจุบัน นอกจากนั้นยังมีกลุ่มคนที่รวมตัวกัน เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ในการสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติระบบนี้

ตัวเองคิดค้นขึ้นมา ขายในตลาด จนทำให้มีผู้นำเครื่อง Makerbot ไปทำเป็นต้นแบบในการผลิตเครื่องพิมพ์ 3 มิติระบบ FDM แบบอื่นๆ ออกมาโดยใช้ชื่ออื่นๆ แต่รูปร่างและการทำงานนั้นก็เหมือนกับเครื่อง Makerbot ซึ่งเครื่องพิมพ์ 3 มิติของ Makerbot นั้นถือว่าได้เปิดโลกของ Maker หรือนักประดิษฐ์ เพราะราคาของเครื่อง Makerbot ที่ขายอยู่ในไม่แพงมาก แถมยังเป็น Open Soruce ซึ่งสามารถปรับแต่งเครื่อง หรือแม้กระทั่ง Download ชิ้นส่วนเครื่องมาพิมพ์ ถ้ามีส่วนใดส่วนหนึ่งของเครื่องเสียหาย ซึ่งทำให้เครื่อง Makerbot นั้นเป็นที่นิยมอย่างมาก จนถึงขนาดที่ว่า ห้างสรรพสินค้าเอาเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ของ Makerbot เข้าไปขาย ซึ่งทำให้คนยิ่งรู้จัก เครื่องปริ้น 3 มิติมากขึ้นไปอีก ในปี 2013 บริษัท Makerbot ก็ถูกซื้อไปโดยบริษัท Startasys ซึ่งเป็นผู้ผลิตและจำหน่าย เครื่องปริ้น 3 มิติระดับอุตสาหกรรม เหตุผลในการซื้อครั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่าบริษัท Startasys ยังไม่มี 3D Printer ที่ใช้ภายในบ้าน ซึ่งเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ของ Makerbot นั้นสามารถตอบโจทย์ในการขยายตลาด เพื่อเข้าไปสู่ผู้ใช้ทั่วไป ซึ่งถือว่าเป็นตลาดที่ใหญ่มากซึ่งในตอนนี้ก็มีหลายบริษัทใหญ่ เช่น 3D System ก็ได้ผลิต เครื่องปริ้น 3 มิติที่เอาไว้ใช้ในบ้าน ออกมาเพื่อแข่งขันกับ Makerbot



ภาพที่__เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ของ Makerbot

ที่มา: https://www.siamreprap.com/2015/10/what-is-fdm-3d-printer/

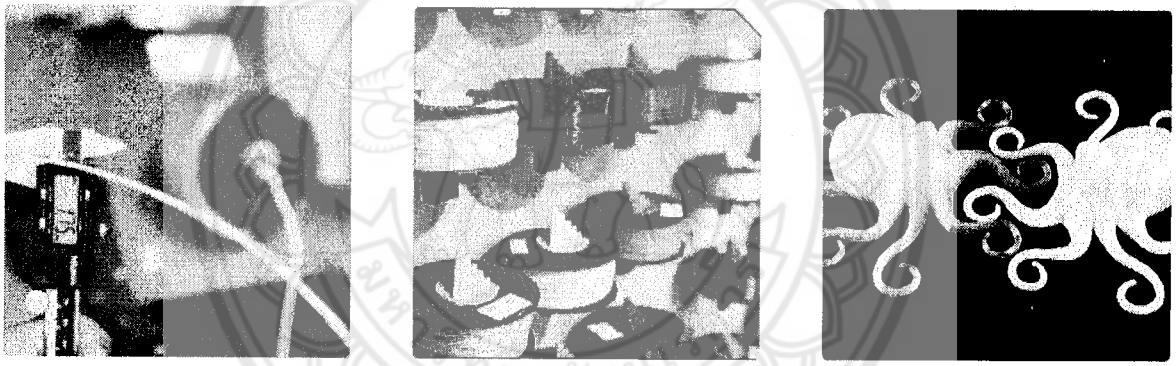
Scott Crump เป็นผู้คิดค้น เครื่องพิมพ์ 3 มิติ?ระบบ FDM อีกทั้งยังเป็นผู้ร่วมก่อตั้ง บริษัท Stratasys ซึ่งเป็นบริษัท ที่จำหน่าย เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Scott Crump ได้คิดค้นและจดสิทธิบัตร เทคโนโลยีเครื่องพิมพ์ 3 มิติ?ระบบ FDM ในปี 1989 เหตุผลที่ทำให้ Crump คิดค้นระบบนี้ เพราะต้องการลดความยุ่งยากในการขึ้นต้นแบบชิ้นงาน ที่ใช้เครื่อง CNC ซึ่งช้าและมีค่าใช้จ่ายสูง และนั่นเป็นสาเหตุให้ Crump คิด

เครื่องปริ้น 3 มิติ?ระบบ FDM ขึ้นมา ซึ่งในตอนแรก วัสดุที่ Crump เลือกใช้นั้นเป็นพลาสติก ABS เพราะ Crump ต้องการงานที่พิมพ์ออกมา สามารถนำไปใช้งานและทดสอบได้ ซึ่งพลาสติก ABS นั้น สามารถที่จะทนแรงกระทำได้พอประมาณ และสามารถนำมาประกอบ เพื่อทดสอบชิ้นงานได้ เหมือนกับงานที่ทำจากเครื่อง CNC แต่ได้งานที่เร็วกว่าและค่าใช้จ่ายต่ำกว่า

อธิบายศัพท์

8.3.4 วัสดุที่นำมาใช้พิมพ์ต้นแบบ 3มิติ

นัฐวัฒน์ (2558) เส้นพลาสติกที่ใช้กับเครื่องปริ้น 3 มิตินั้น จะเป็นพลาสติก จำพวก Thermal Plastic ที่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นของหนืดได้เมื่อได้รับความร้อน และกลับเป็นของแข็งได้เมื่อเย็นตัว ซึ่งคุณสมบัติตรงนี้ทำให้พลาสติกจำพวกนี้ สามารถนำกลับมาใช้ไม่ได้ เส้นพลาสติกสำหรับ 3D Printer นั้นที่นิยมใช้ในตอนนี้ ได้แก่ ABS และ PLA ซึ่งพลาสติกที่จะนำมาใช้ก็ให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันสำหรับงานที่พิมพ์ ก่อนที่จะนำเส้นพลาสติกมาใช้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิตินั้น จำเป็นต้องถูกแปรรูปให้อยู่ในรูปของเส้นพลาสติก ที่เรียกว่า Filament ซึ่งขนาดที่ใช้นั้น ได้ถูกกำหนดขนาดเอาไว้ 2 ขนาด ได้แก่ 2.85 มิลลิเมตรและ 1.75 มิลลิเมตร ซึ่งเส้นขนาด 2.85 มิลลิเมตร นั้นนิยมใช้ในฝั่งยุโรป ส่วนฝั่งเอเชียบ้านเรานั้นนิยมใช้เส้นขนาด 1.75 มิลลิเมตร



ภาพที่__แสดงตัวอย่างของวัสดุในการสร้างต้นแบบ 3มิติ

ที่มา : https://www.siamreprap.com/2015/10/3d-printer-difference-between-abs-and-pla/

คุณสมบัติของเส้น ABS และ PLA

ABS นั้นเป็นพลาสติกที่ได้มาจากน้ำมัน และเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเพราะเป็นพลาสติกที่มีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นปานกลาง เมื่อเทียบกับ PLA ซึ่งพลาสติก ABS นั้นสามารถทนความร้อนได้ดีกว่า PLA เมื่อตากแดด เพราะค่า Glass Transtion ของ ABS นั้นสูงกว่า PLA กล่าวคือ พลาสติก ABS จะไม่เสียรูปเมื่อตากแดดเป็นเวลานาน ซึ่งข้อดีตรงนี้ทำให้พลาสติก ABS สามารถทำเป็นชิ้นส่วนในรถยนต์ ถ้านึกไม่ออกว่าพลาสติก ABS เป็นอย่างไร ก็ให้นึกถึกตัวต่อ LEGO ซึ่งเป็นพลาสติกประเภท ABSพลาสติก ABS นั้นสามารถที่จะขัดแต่งได้ง่ายกว่า PLA ข้อดีของ ABS อีกอย่างก็คือ ความยืดหยุ่นที่มีมากกว่า PLA ทำให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่ต้องมีการต่อหรือสวมประกอบเขาหากัน นอกจากนั้นพลาสติก ABS สามารถที่จะละลายได้ในสารละลาย Acetone (อะซิโตน) ซึ่งสารละลายตัวนี้ก็มีอยู่ในน้ำยาล้างเล็บ ซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะใช้อะซิโตนในการเชื่อมหรือต่องานที่พิมพ์จาก ABS ได้ เพราะ ABS นั้นสามารถละลายได้ใน Acetone นอกจากนั้น ยัง

สามารถใช้อะซิโตนในการเคลือบผิวงานที่พิมพ์จากพลาสติก ABS ทำให้งานที่เคลือบออกมามีผิวเงาวาว เหมือนกับพลาสติกที่ฉีดออกมาจากเครื่องฉีดพลาสติก แต่ข้อเสียของการเคลือบผิวนั้น จะทำให้งานที่พิมพ์ออกมาขาดความคมชัด เพราะอะซิโตนจะไปละลายพลาสติก ABS

PLA เป็นพลาสติกที่ได้มาจากพืช ซึ่งถือว่าเป็นพลาสติกที่ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม เมื่อเทียบกับพลาสติก ABS ซึ่งพลาสติก PLA นั้นเป็นที่นิยมใช้ สำหรับทำบรรจุภัณฑ์อาหาร เช่นถาดใส่อาหาร เส้นพลาสติก PLA นั้นสามารถย่อยสลายได้ แต่ต้องผ่านกระบวนการที่ถูกต้อง ไม่ใช่ว่า วางเอาไว้ในห้อง แล้วจะย่อยสลายพลาสติก PLA นั้นจะมีความแข็งมากกว่าพลาสติก ABS แต่จะขาดความยืดหยุ่น ซึ่งไม่เหมาะสำหรับงานพิมพ์ ที่ต้องทีการสวมประกอบ เพราะงานที่พิมพ์อาจจะหักได้ ข้อเสียอีกย่างของพลาสติก PLA คือไม่สามรถทนหรือตากแดดได้ เพราะจะเสียรูปง่าย จึงไม่เหมาะกับชิ้นงาน ที่ใช้งานกลางแดด

ภาพที่__ผลงานที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวัสดุต่างชนิดกัน

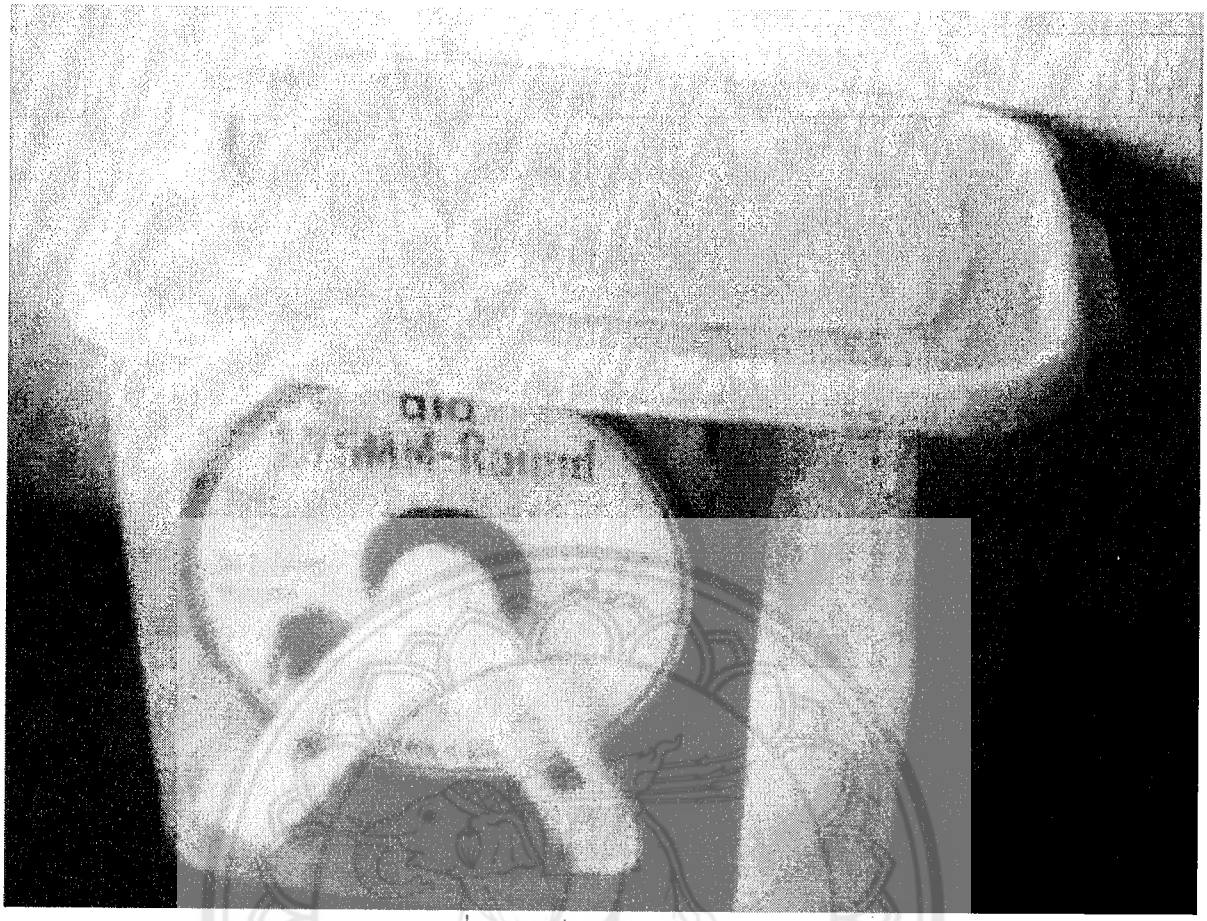
ที่มา : https://www.siamreprap.com/2015/10/3d-printer-difference-between-abs-and-pla/

สำหรับพลาสติกที่ใช้กับ 3D Printer นั้น เป็นพลาสติกที่ต้องมีการละลายก่อน ซึ่งเมื่อละลายแล้วก็จะก่อให้เกิดกลิ่นและควันขึ้นมา ซึ่งกลิ่นนั้นก็เป็นตัวแปร อันหนึ่งที่ผู้ใช้ 3D printer นั้นต้องให้ความสำคัญ เพราะกลิ่นนั้นเกิดจากตัวแปรในเรื่องของอุณหภูมิความร้อนที่ใช่ในการละลายพลาสติก ซึ่งกลิ่นนั้น ก็เป็นสาเหตุสำคัญในการตั้งหรือหาที่วางเครื่องพิมพ์ 3 มิติ พลาสติก ABS นั้น จะให้กลิ่นที่เหม็นและแรง ซึ่งถ้าจำเป็นต้องพิมพ์พลาสติก ABS ก็ควรที่จะวางเครื่องพิมพ์ในห้องที่มีอากาศถ่ายเท เพราะกลิ่นและควันที่มาจากการละลายพลาสติก ABS นั้นสามารถเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ เครื่องปริ้น 3 มิติได้ ในส่วนของ PLA นั้น กลิ่นที่ออกมาจะไม่เหม็นหรือรุนแรงเท่า ABS และกลิ่นของพลาสติก PLA นั้นจะคล้ายกับ น้ำตาลไหม้ เพราะว่าพลาสติก PLA นั้นทำมาจากพืชและน้ำตาล

พลาสติกก็เป็นอีกตัวแปรสำหรับ ขนาดและความแม่นยำของชิ้นงานที่พิมพ์ออกมา ซึ่งพลาสติก ABS นั้นจะมีปัญหาในเรื่องของการหดตัว เมื่อเทียบกับพลาสติก PLA ซึ่งพลาสติก ABS นั้นจะมีปัญหาในเรื่องของการยึดติดกับฐานที่พิมพ์ พลาสติก ABS นั้นจะหดตัวได้ง่าย โดยเฉพาะในส่วนของฐานงานที่ติดกับฐานพิมพ์จะมีการยกตัวหรือหดตัว ทำให้งานไม่ติดกับฐาน เนื่องมาจากพลาสติก ABS นั้นหดตัว เมื่อความร้อนไม่สม่ำเสมอ ทำให้ฐานงานมีการยกตัว ซึ่งการแก้ไขปัญหาก็คือ ให้ใช้ฐานพิมพ์ที่มีฮีทเตอร์ทำความร้อนที่ฐาน เพื่อเวลาพิมพ์พลาสติก ABS แล้ว จะทำให้อุณหภูมิความร้อน ของงานนั้นไม่เสียไป ทำให้งานหดตัวน้อยลง และยังช่วยให้ฐานของชิ้นงานละลายแล้วยึดติดกับฐาน ซึ่งอุณหภูมิของฐานที่ใช้สำหรับพิมพ์ ABS นั้นจะอยู่ประมาณ 100 - 110 องศา นอกจากจะใช้ความร้อนช่วยแล้ว อาจจะยังต้องใช้กาว ABS ที่สามารถทำเองได้โดยทาไปที่ฐานพิมพ์ ก่อนพิมพ์งาน จะช่วยให้งานยึดติดกับฐานได้ดีขึ้น ซึ่งกาว ABS ทำก็มาจาก เส้นพลาสติก ABS ละลายในอะซิโตน และสำหรับการพิมพ์งานประเภทเฟือง หรืองานมีมีมุมแหลมนั้น พลาสติก ABS นั้นจะทำได้ไม่ค่อยคม หรือมุมอาจจะไม่แหลม ซึ่งสามารถที่จะใช้พัดลมช่วยเป่างานช่วย แต่ถ้าเปิดพัดลมแรงเกิน ก็อาจจะทำให้งานที่พิมพ์ไม่ติดกัน เพราะพลาสติก ABS เย็นเกิน

พลาสติก PLA นั้นจะหดตัวน้อยกว่า พลาสติก ABS ซึ่งเป็นข้อดีของ PLA ทำให้พลาสติก PLA สามารถจะพิมพ์งานบนฐานที่ไม่ต้องใช้ความร้อนก็ได้ ซึ่งพลาสติก PLA นั้นสามารถพิมพ์งานที่มีมุมแหลมได้ดี เพราะตอนที่ PLA ละลายนั้น จะหนืดน้อยกว่า ABS ทำให้มุมที่ได้ นั้นคมกว่า ซึ่งทำให้พลาสติก PLA นั้นเหมาะกับการพิมพ์งานประเภท มุมแหลม เช่น เฟือง เป็นต้น

การเก็บรักษาเส้นพลาสติกทั้ง PLA และ ABS นั้นจำเป็นต้องเก็บในที่ไม่มีความชื้น เพราะพลาสติกทั้ง 2 ตัว สามารถดูดความชื้นได้ ทำให้เวลาพิมพ์งาน จะเกิดปัญหาขึ้นมาได้ เช่น งานไม่ตรงขนาด หรือเส้นขาดออกเป็นช่วงๆ นอกจากงานที่จะไม่ได้คุณภาพแล้ว ยังทำให้เกิดอาการหัวตันได้ ซึ่งการสังเกตุอาการว่าเส้นมีความชื้นหรือไม่ ต้องใช้การฟังเข้าช่วย ถ้าเส้นพลาสติกชื้น เวลาพิมพ์งาน ก็จะมีเสียงดังขึ้นมาที่หัวฉีด หรือไม่ก็จะเห็นฟองอากาศออกมาที่หัวพิมพ์ สาเหตุที่เกิดเสียง ก็เพราะว่าน้ำที่อยู่ในเส้นพลาสติก เกิดการเดือด เมื่อผ่านหัวพิมพ์ที่มีความร้อนซึ่งการเก็บรักษาเส้นนั้น ควรจะหากล่องเก็บที่สามารถปิดกันอากาศเข้า ถ้าสังเกตุให้ดีเวลาซื้อเส้นพลาสติกมาใช้กับ 3D Printer นั้น ตัวม้วนเส้นพลาสติกจะถูกห่อในถุงสุญญากาศ แล้วยังมี Silica Gel อยู่ในถุงอีกด้วย เพื่อดูดความชื้นและกันอากาศเข้าไป ดังนั้นเมื่อแกะใช้งาน ก็ควรจะเก็บเส้นในที่แห้ง แล้วถ้าให้ดี ก็ควรใส่ Silica Gel หรือตัวดูดความชื้นลงไปในกล่องที่เก็บด้วยส่วนเส้นพลาสติกที่ชื้นไปแล้ว ก็ยังมีวิธีดูดความชื้นออกมาจากเส้น โดยไม่จำเป็นต้องทิ้งเส้นพลาสติกไป สำหรับ ABS นั้นให้นำเข้าตู้อบ หรือเตาทำอาหาร แล้วให้เปิดอุณหภูมิประมาณ 90 -100 องศา แล้วทิ้งเอาไว้ประมาณ 5- 6 ชั่วโมง ก็จะช่วยให้เส้นพลาสติก ABS คลายความชื้นออกมา สำหรับเส้นพลาสติก PLA ก็อาจจะใช้ ตัวดูดความชื้นเข้าช่วย แล้วทิ้งเอาไว้ข้ามคืน



ภาพที่__การเก็บรักษาเส้นพลาสติก

ที่มา : https://www.siamreprap.com/2015/10/3d-printer-difference-between-abs-and-pla/

บทสรุปในการเลือกใช้เส้นพลาสติกสำหรับ 3D Printer

ABS จะให้คุณสมบัติ ที่แข็งแรง ยืดหยุ่น และทนต่ออุณหภูมิที่สูง เหมาะสำหรับงานวิศวกรรม ที่มีการสวมต่อ หรือประกอบเข้าด้วยกัน สามารถขัดแต่งชิ้นงานได้ง่าย แต่ต้องแลกมาด้วยกลิ่นที่รุนแรง และการหดตัวของชิ้นงาน ซึ่งถ้าจะพิมพ์ ABS เครื่องพิมพ์ 3 มิติ จำเป็นต้องมีฐานทำความร้อน และตู้ครอบที่ป้องกันอุณหภูมิภายนอก เพื่อป้องกันชิ้นงานหดตัว

PLA เหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องตากแดด แต่ต้องการความแข็งแรง พิมพ์ง่ายไม่หดตัว และตอนพิมพ์ไม่มีกลิ่น สามารถพิมพ์กับ เครื่องปริ้น 3 มิติ ที่ไม่มีฐานทำความร้อนได้ สามารถพิมพ์งานได้เร็ว พิมพ์รายละเอียดงานได้คม แต่ข้อเสียคือ ขัดแต่งยากกว่า ABS ไม่สามารถทำผิวให้เงาได้เหมือน ABS ชิ้นงานแตกหักง่ายกว่า ABS เพราะขาดความยืดหยุ่น

8.3.5 โปรแกรมสำหรับการออกแบบโมเดล 3 มิติ

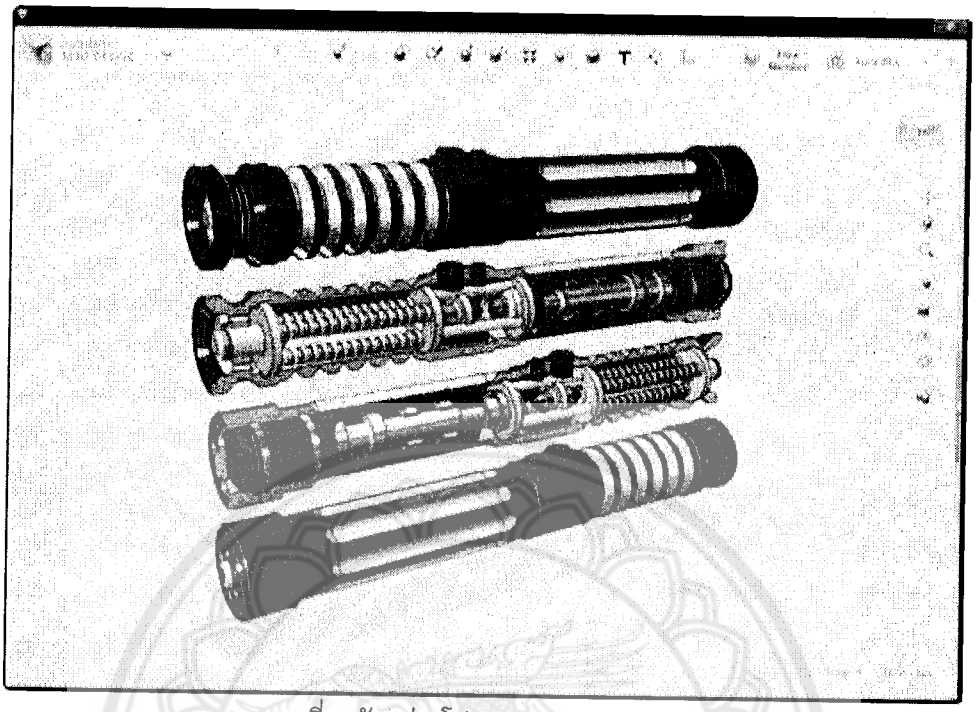
นัฐวัฒน์(2559) โปรแกรมสำหรับการออกแบบโมเดล 3 มิติ เพื่อไปใช้กับ 3D Printer การเลือกโปรแกรมนั้นก็ต้องขึ้นอยู่กับงานที่ออกแบบด้วย เพราะในตอนนี้มีโปรแกรมสำหรับออกแบบโมเดล 3 มิติมากมายที่ถูกสร้างขึ้นมาให้กับงานออกแบบในเฉพาะด้าน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าอยากออกแบบงานที่เกี่ยวกับเครื่องจักรและกลไก ก็เลือกโปรแกรมจำพวก Solidwork หรือ Autocad Inventor ถ้าออกแบบงานปั้นโมเดลรูปเหมือนหรือการทำ Animation ก็ไปทางสายโปรแกรม Zbrush หรือไม่ก็ Maya ส่วนถ้าจะออกแบบจิวเวลรี่ก็ไปทางโปรแกรม JewelCad และ Matrix โปรแกรมที่กล่าวมานั้น ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับงานเฉพาะด้าน ซึ่งจะมีเครื่องมือในการขึ้นรูปให้เหมาะกับงานที่ออกแบบ แต่ถ้าใครอยากได้โปรแกรมที่ครอบคลุมเกือบทุกด้าน ก็ต้องไปใช้โปรแกรม Rhino ซึ่งจะมี Plug in หรือส่วนเสริมมาให้ใช้มากมาย สำหรับการออกแบบส่วนตัวผู้เขียนนั้นจะถนัดไปทางด้านเครื่องจักรและกลไก ก็จะเลือกโปรแกรมจำพวก Onshape หรือ Solidwork ในการออกแบบ ดังนั้นการจะเลือกโปรแกรมออกแบบหรืออยากจะเรียนโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ เราก็ควรจะต้องรู้แนวของตัวเองก่อนว่าจะไปทางด้านไหน ก็ให้เลือกโปรแกรมที่ถูกพัฒนามาให้ถูกด้าน เพราะจะทำให้การออกแบบโมเดล 3 มิตินั้นง่ายและรวดเร็วมากขึ้น โปรแกรมส่วนใหญ่นั้นจะเป็นโปรแกรมที่ต้องเสียเงิน ซื้อลิขสิทธิ์มาเพื่อใช้งาน ซึ่งมีราคาตั้งแต่ 30000 บาทจนถึงหลักหลายแสน ขึ้นอยู่กับบริษัทที่พัฒนาโปรแกรม แต่ถ้ามีเงินไม่ถึงและอยากใช้โปรแกรมออกแบบ 3 มิติ ก็สามารถทำได้ ซึ่งตอนนี้หลายๆบริษัท ได้พัฒนาโปรแกรมออกแบบให้ทำงานอยู่บนก้อนเมฆหรือที่เรียกว่า Cloud Computing ผู้ใช้แค่ไปลงทะเบียนก็สามารถใช้โปรแกรมได้แล้ว ก่อนที่จะใช้โปรแกรมออกแบบ 3 มิตินั้น เรามาทำความทำความเข้าใจการขึ้นรูปโมเดลกันก่อน ซึ่งโปรแกรมออกแบบโมเดลจะใช้วิธีการขึ้นรูปแตกต่างกัน เราสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ Solid กับ Mesh

ข้อแตกต่างระหว่างโปรแกรม Solid กับ Mesh การขึ้นรูปแบบ Solid จะเหมาะกับงานออกแบบที่ต้องการความแม่นยำ เช่น สินค้า,เครื่องจักรและกลไกต่างๆ เช่น เฟือง ซึ่งพื้นฐานของโปรแกรมแบบ Solid นั้น จะเป็นรูปแบบการขึ้นที่เป็น Geometry ที่ต้องใส่ขนาดต่างๆ เข้าไป และทำการเจาะ ตัด หรือเพิ่มเนื้อเข้าไปในก้อน Solid สำหรับโปรแกม Mesh นั้นจะเป็นลักษณะของโครงสร้างแบบ Wireframe หรือลวดตาข่าย และปูผิวทับลงบนโครงสร้างตาข่าย ซึ่งโปรแกรมประเภท Mesh จะเหมาะสำหรับงานออกแบบประเภท Free form เช่น ตัวละคร เป็นต้น ซึ่งในบางโปรแกรมนั้น สามารถออกแบบ Mesh และ Solid ได้ในคราวเดียวกัน หรือจะใช้ตัวช่วยจากโปรแกรมอื่นๆ ในการรวมงานจากทั้ง 2 แบบ ก็ได้

โปรแกรมฟรี สำหรับใช้ออกแบบงาน 3 มิติเพื่อไปพิมพ์กับ 3D Printer

123D Design ทำงานบนระบบปฏิบัติการ: Windows, iPad, & OS X (Mac)
ประเภทโปรแกรม: Solid โปรแกรม 123D Design นั้นเป็นของบริษัท Autocad ถูกพัฒนาสำหรับนักออกแบบโมเดล จำพวกชิ้นงานเครื่องจักรหรืออะไหล่ ที่ต้องการความแม่นยำสูง เพราะสามารถใส่ขนาดได้ตามความต้องการ รวมถึงมี GUI ที่ใช้งานง่าย มีโมเดลสำเร็จรูปให้เลือกใช้หลากหลายรูปแบบ สามารถที่จะตัด

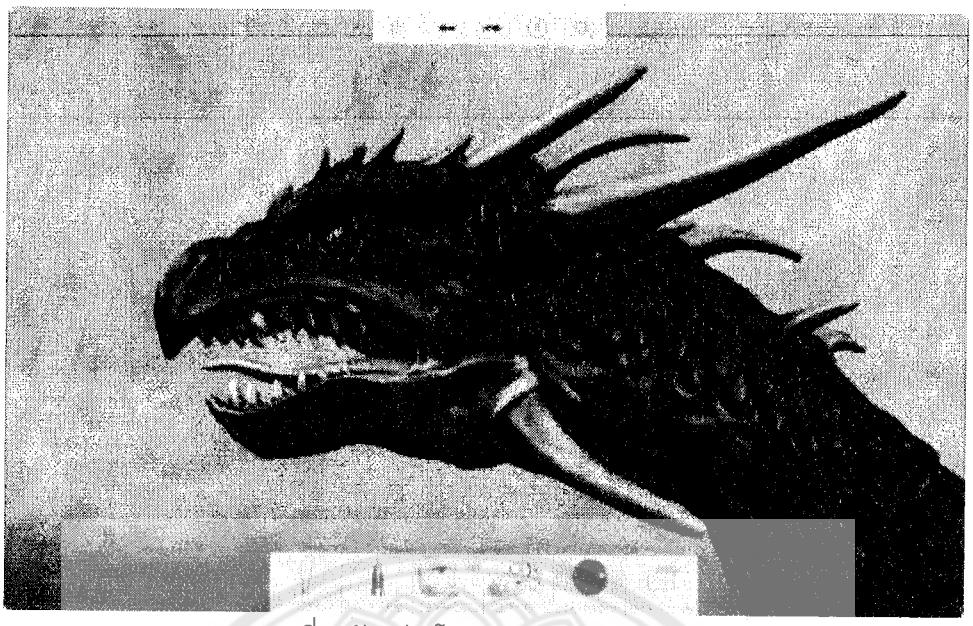
เจาะและรวมผิวงานได้ ซึ่งโปรแกรม 123D Design จะมีลักษณะคล้ายกับโปรแกรม Solidwork ซึ่งตัวโปรแกรมสามารถที่จะ Save เป็น File นามสกุล STL เพื่อไปพิมพ์กับ 3D Printer ได้เลย



ภาพที่__ตัวอย่างโปรแกรม123D Design

ที่มา: https://www.siamreprap.com/2016/03/8-free-software-for-3d-printer/

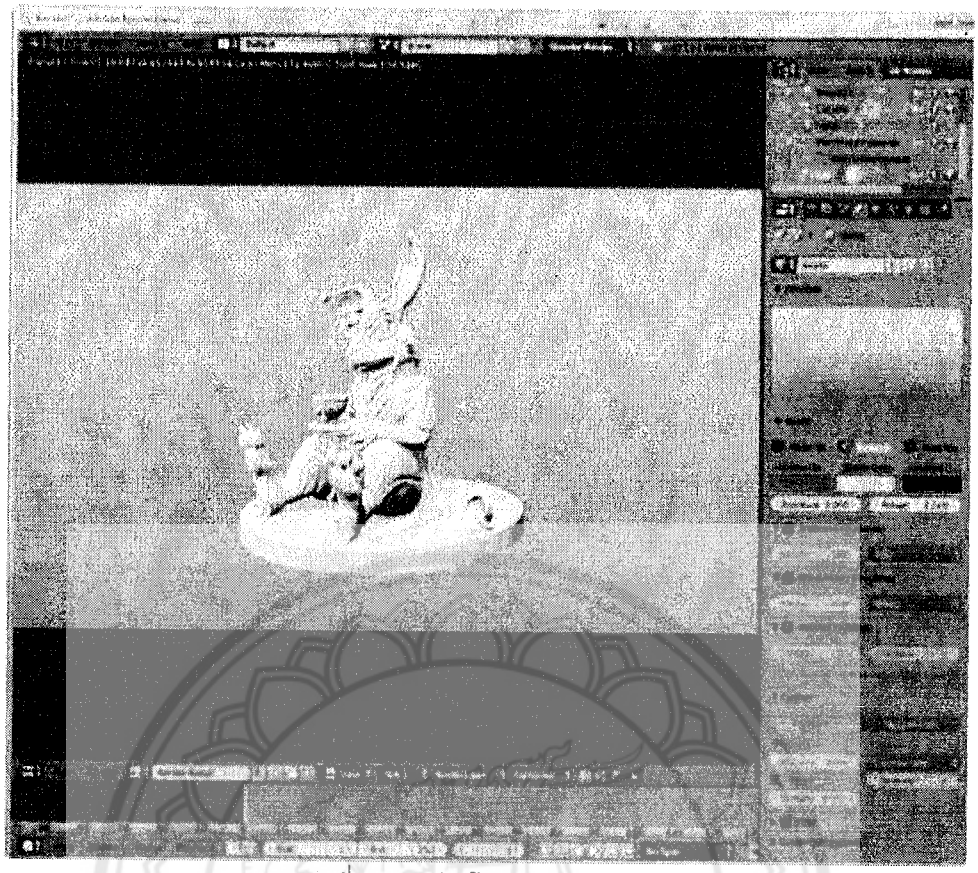
123D Sculpt+ ทำงานบนระบบปฏิบัติการ: iPad, Android Tablet ประเภทโปรแกรม: Mesh สำหรับโปรแกรม 123D Sculpt+ นั้นเหมาะสำหรับ งานปั้น เช่นตัวการ์ตูน หรือตัวละครในเกม ซึ่งสามารถปรับแต่ง โดยการดึง กด เหมือนกับการปั้นดินน้ำมัน ตัวโปรแกรมยังสามารถที่จะใส่สีให้กับหุ่นที่ปั้นได้ เพื่อเพิ่มความสมจริงให้กับงาน ซึ่งโปรแกรมนี้เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นหรือเด็กๆ ที่ต้องการเรียนรู้การปั้นโมเดล ในคอมพิวเตอร์ สำหรับโปรแกรม 123D Scultp+ นั้นไม่สามารถบันทึกเป็นไฟล์ STL ได้ จำเป็นต้องใช้โปรแกรมอื่นเข้าช่วยเพื่อเปลี่ยนนามสกุลเป็น STL สำหรับไปพิมพ์กับ 3D Printer



ภาพที่__ตัวอย่างโปรแกรม123D Sculpt+

ที่มา: https://www.siamreprap.com/2016/03/8-free-software-for-3d-printer/

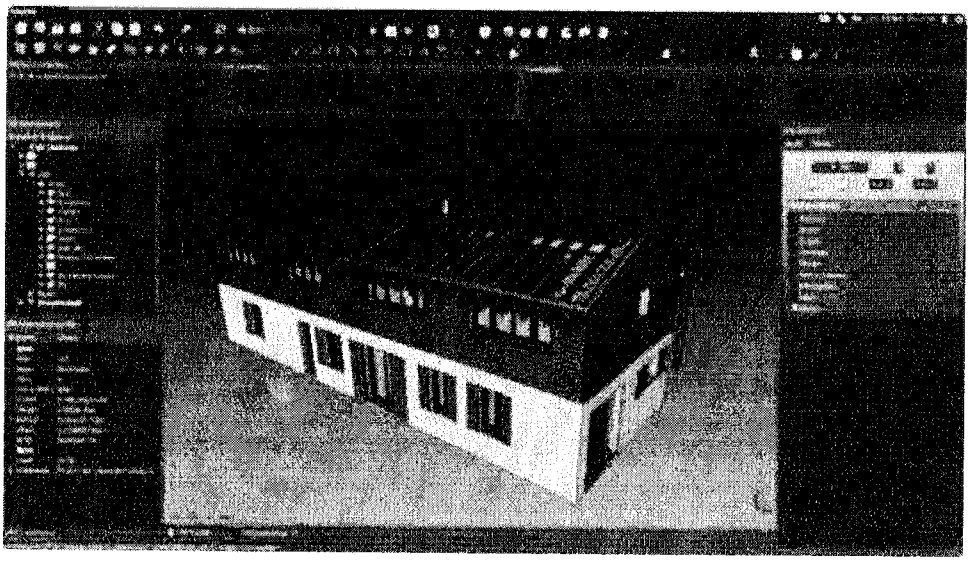
Blender ทำงานบนระบบปฏิบัติการ: PC (Windows, Linux, FreeBSD), Mac ประเภทโปรแกรม: Mesh. Blender เป็นอีกโปรแกรมที่ฟรี ที่มีความสามารถมากมาย ซึ่งถ้าใช้ครั้งแรกอาจจะงง ต้องมีการทำความเข้าใจ เพราะมีเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบมากมาย ตัวโปรแกรมเหมาะสำหรับงานขึ้นโมเดล หรือทำฉากประกอบ ที่มีความสลับซับซ้อน แต่ไม่ต้องกลัว เพราะจำนวนคนที่ใช้ Blender นั้นมีเยอะมากในต่างประเทศ และมีการตั้งกระทู้ เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้มากมาย รวมถึงวิดีโอที่สอนการใช้งานใน Youtube



ภาพที่__ตัวอย่างโปรแกรม Blender

ที่มา: https://www.siamreprap.com/2016/03/8-free-software-for-3d-printer/

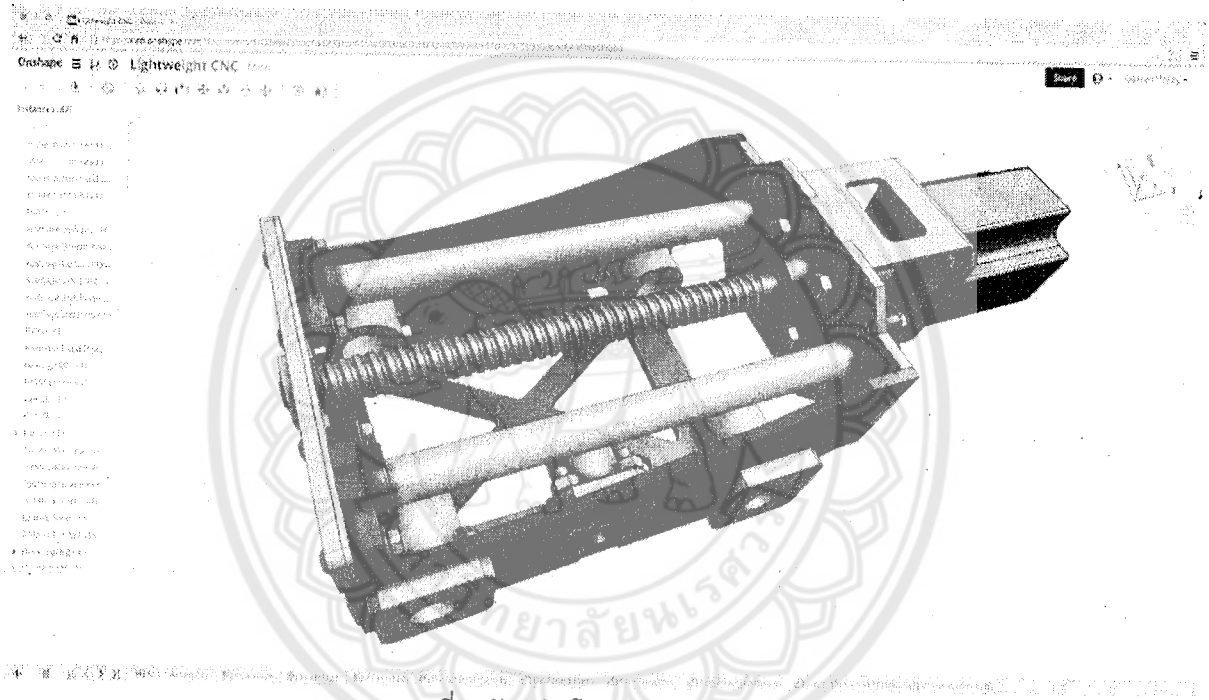
FreeCAD ทำงานบนระบบปฏิบัติการ:Windows, Linux, Mac ประเภทโปรแกรม: Soild โปรแกรม FreeCAD นั้นเหมาะสำหรับวิศวกร หรือการออกแบบโมเดลที่ต้องการความแม่นยำสูง ซึ่งโปรแกรมสามารถให้ผู้ใช้กำหนดขนาดในส่วนต่างๆได้ ซึ่งข้อดีของโปรแกรม FreeCAD ก็คือสามารถบันทึกขั้นตอนการออกแบบ และย้อนกลับไปแก้ไขงานออกแบบได้ โดยที่มันจะไป Link กับส่วนต่างๆ ของงานที่ออกแบบโดยอัตโนมัติ ซึ่งข้อดีตัวนี้ จะคล้ายกับโปรแกรม Solidwork



ภาพที่__ตัวอย่างโปรแกรม FreeCAD

ที่มา: https://www.siamreprap.com/2016/03/8-free-software-for-3d-printer

Onshape ทำงานบนระบบปฏิบัติการ:Web Browser ประเภทโปรแกรม: Soild Onshape เป็นโปรแกรมที่ผู้เขียนอยากแนะนำ เพราะสามารถทำงานบน Web Browser แต่ต้องมีการเชื่อมต่อ Internet จึงจะใช้งานได้ ซึ่งตัวโปรแกรม Onshape นั้นจะคล้ายกับโปรแกรม Solidwork มากๆ เพราะมาจากผู้พัฒนาเดียวกัน ซึ่งถ้าใครเคยใช้โปรแกรม Solidwork แล้ว ก็จะสามารถใช้ Onshape ได้อย่างง่ายดาย ข้อดีของ Onshape คือการอนุญาติให้นักออกแบบคนอื่นๆ เข้ามาช่วยกันในการออกแบบงานได้ หรือที่เรียกว่า Collaboration

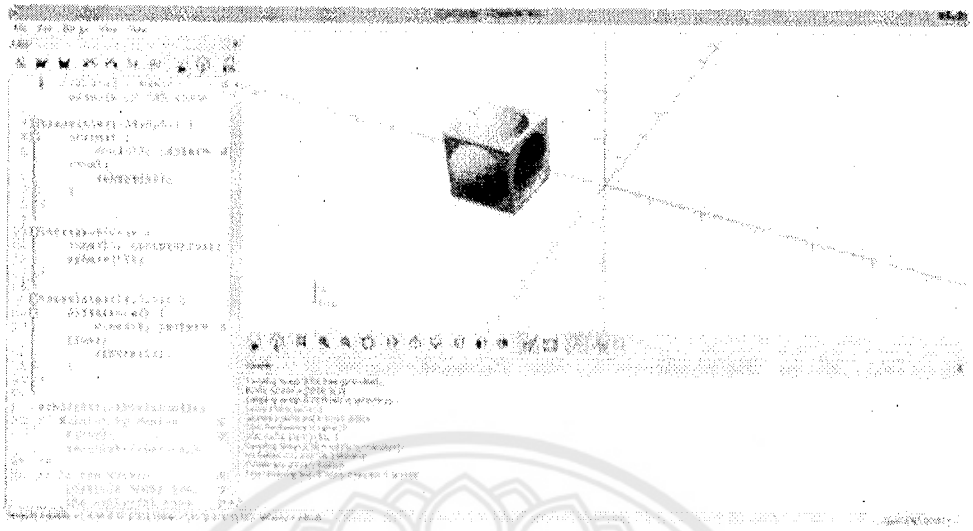


ภาพที่__ตัวอย่างโปรแกรม Onshape

ที่มา: https://www.siamreprap.com/2016/03/8-free-software-for-3d-printer

OpenSCAD ทำงานบนระบบปฏิบัติการ: Windows, Linux, OS X ประเภทโปรแกรม: Soild OpenSCAD เป็นอีกโปรแกรมหนึ่งที่ไม่เหมือนกับโปรแกรมออกแบบอื่นๆ เพราะผู้ใช้จำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องของการเขียน Code เพราะตัวโปรแกรม จะเป็นในลักษณะเขียนคำสั่ง เพื่อให้โปรแกรมทำโมเดล 3 มิติขึ้นมา ข้อดีของ OpenSCAD ก็คือเหมาะสำหรับคนที่ไม่มีพื้นฐานทางด้านการเขียนแบบ เพราะแค่ใส่หรือป้อนคำสั่งไม่กี่บรรทัดก็จะได้งานโมเดล 3 มิติขึ้นมา นอกจากนั้น OpenSCAD เหมาะกับนักออกแบบที่ชอบสมการและการคำนวน เพราะสามารถใส่สูตรลงไปได้ ทำให้เกิดโมเดล ที่มีรูปร่างแปลกตา OpenSCAD ยังเหมาะกับงานที่ต้องการปรับแต่งได้ โดยแค่ใส่ตัวเลขหรือขนาดที่ต้องการลงไป ก็จะทำให้โมเดลมีขนาดตามความต้องการ

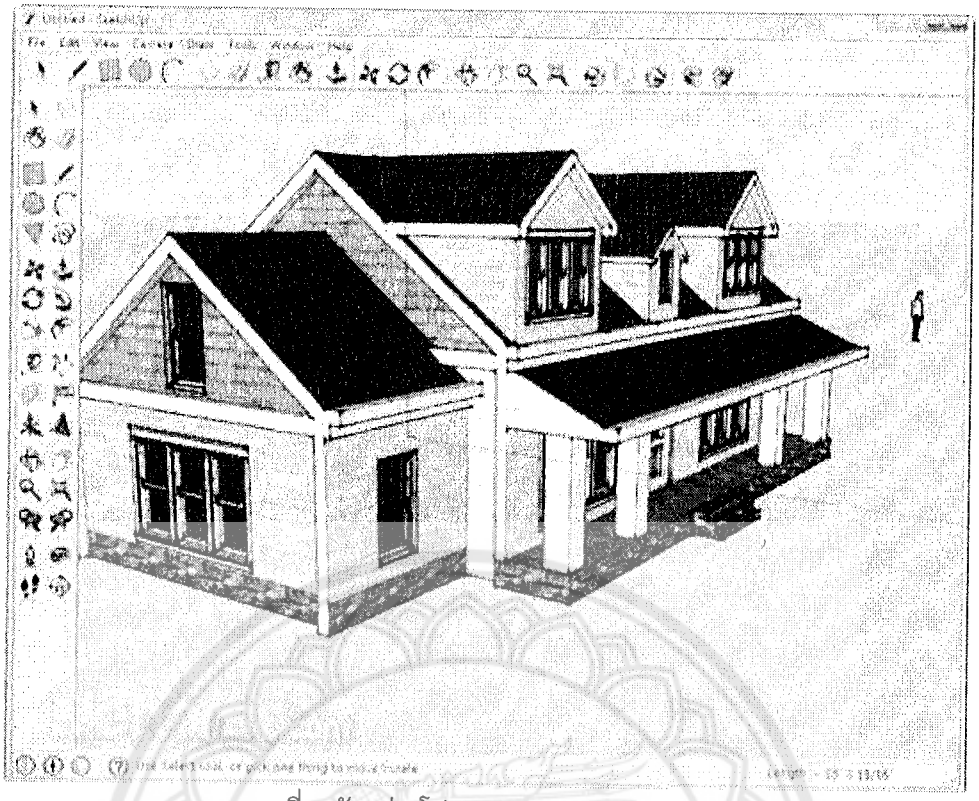
ซึ่งใน Thingiverse นั้นก็มีนักออกแบบหลายคนที่ Upload ไฟล์ประเภท OpenSCAD ขึ้นไปมากมาย เพื่อให้ผู้ Download สามารถนำไปปรับแต่ง ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ



ภาพที่__ตัวอย่างโปรแกรม OpenSCAD

ที่มา: https://www.siamreprap.com/2016/03/8-free-software-for-3d-printer

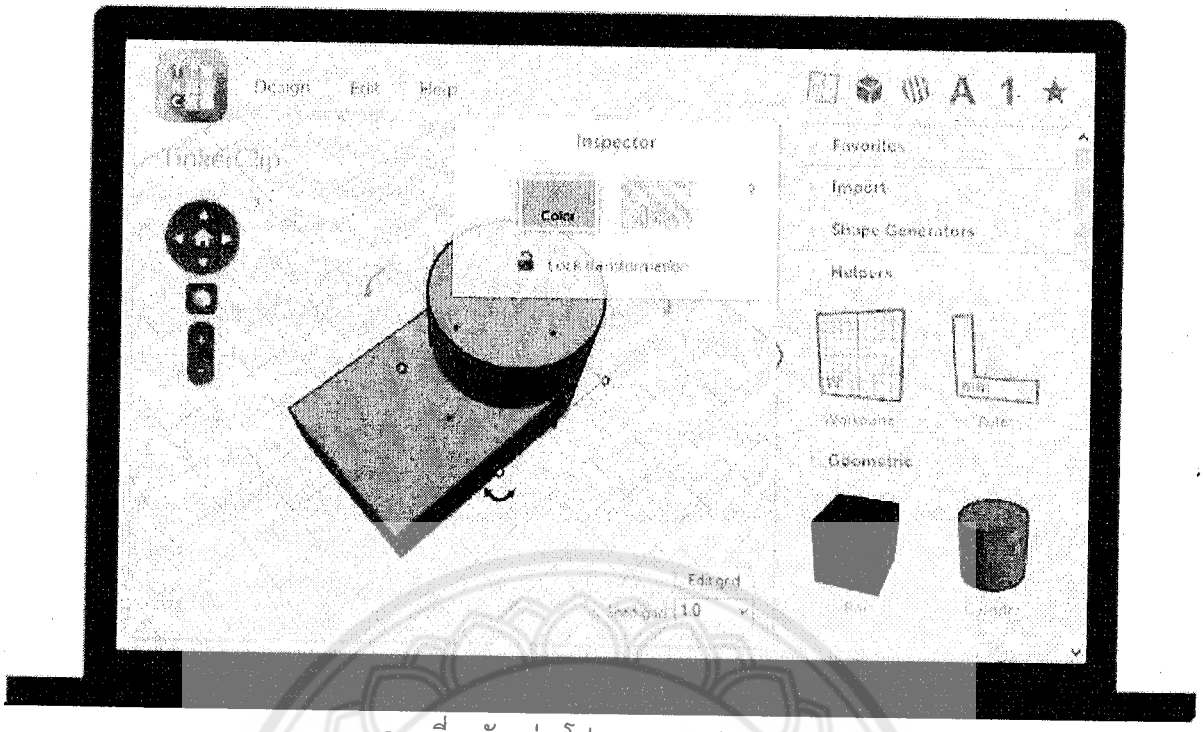
Sketchup Make ทำงานบนระบบปฏิบัติการ: Windows,OS X ประเภทโปรแกรม: Mesh และ Solid แบบง่ายๆ โปรแกรมนี้คงไม่ต้องพูดถึงมาก เพราะเป็นที่นิยมอย่างมากในประเทศไทย ส่วนใหญ่เอาไปใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรม ซึ่งจริงๆแล้วตัวโปรแกรม Sketchup ก็มี Version ที่เรียกว่า Make เอาไว้สำหรับออกแบบงานแบบอื่น ที่ไม่ใช่สถาปัตยกรรมอย่างเดียว ข้อดีของโปรแกรม Sketchup ก็คือ มี Plug in หรือส่วนเสริมให้ติดตั้งมากมาย ทำให้ง่ายสำหรับการออกแบบโมเดล 3 มิติ



ภาพที่__ตัวอย่างโปรแกรม Sketchup Make

ที่มา: https://www.siamreprap.com/2016/03/8-free-software-for-3d-printer

TinkerCAD ทำงานบนระบบปฏิบัติการ: Web Browser ประเภทโปรแกรม: Soild เป็นอีกโปรแกรมที่อยากจะแนะนำสำหรับผู้ที่เริ่มสนใจในการออกแบบโมเดล 3 มิติเพื่อไปใช้กับ เครื่องพิมพ์ 3D Printer เพราะมีรูปแบบการใช้งานที่แสนง่าย เหมาะให้เด็กเรียนรู้ แถมยังมีโมเดลให้โหลดเพิ่ม เพื่อมาปรับแต่ง เป็นโมเดลของเราเอง ซึ่งเจ้าของโปรแกรม TinkerCAD ก็ไม่ใช่ใครที่ไหน ก็คือบริษัท Autodesk นั้นเอง ซึ่งตัวโปรแกรมนั้นก็จะคล้ายกับ 123D Design แต่เครื่องมือจะไม่ครบเท่ากับ 123D Design ?ข้อแตกต่างที่สำคัญก็คือ TinkerCAD นั้นรันบน Cloud หรือบนเว็บ นั้นเอง ทำให้สามารถออกแบบงานจากที่ไหนก็ได้ ขอแค่มี Internet



ภาพที่__ตัวอย่างโปรแกรม TinkerCAD

ที่มา: https://www.siamreprap.com/2016/03/8-free-software-for-3d-printer

8.3.6 การออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ

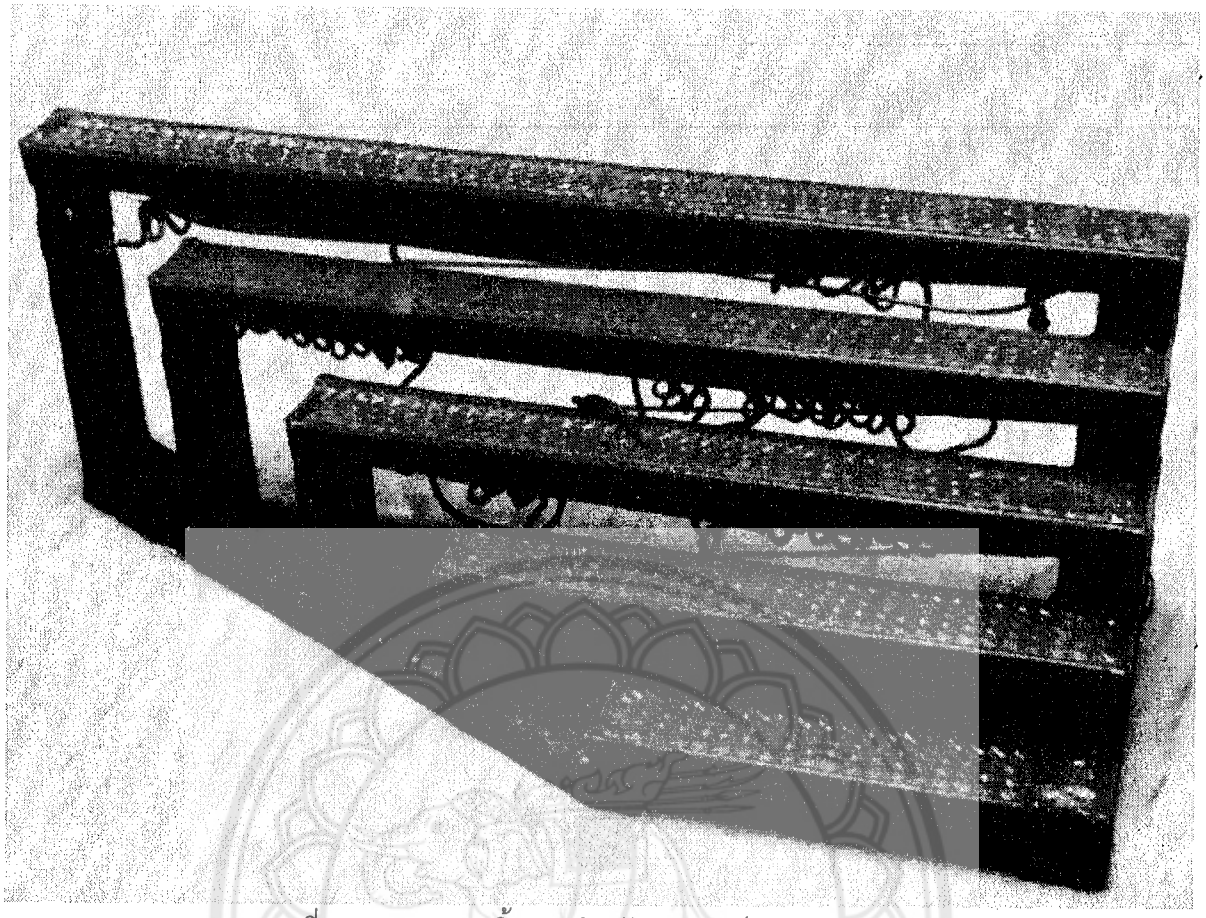
อสิพล (2559) การพิมพ์ 3 มิติคือการเปลี่ยนไฟล์ 3D ในคอมพิวเตอร์ให้กลายเป็นวัตถุจริงๆ ก่อนจะพิมพ์ชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติได้ ต้องมีการวาดแบบ 3D ขึ้นมาก่อน โปรแกรมออกแบบ 3 มิติทำให้เรามีอิสระในการออกแบบชิ้นงานได้ตามต้องการโดยไร้ขีดจำกัด สามารถวาดรูปทรงที่มีขนาดและความซับซ้อนเท่าไหร่ก็ได้ แต่การพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติมีข้อจำกัดบางอย่าง เช่นแรงโน้มถ่วง การหดตัวและขยายตัวของพลาสติก ที่อาจทำให้ชิ้นงานที่ออกมาต่างไปจากที่ออกแบบไว้ตอนแรก สิ่งที่เราต้องไม่ลืมคือ 3D printer (ในปัจจุบัน) ไม่สามารถพิมพ์ได้ทุกอย่าง ในบทความนี้เราจะพูดถึงสิ่งที่ควรระวังในการออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ เพื่อให้ได้ชิ้นงานพิมพ์ที่มีคุณภาพสูงสุด โดยจะเน้นการพิมพ์แบบ FDM (เส้นพลาสติก) เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่แพร่หลายที่สุด

ระวังมุมองศาของ Overhang : Overhang คือส่วนของชิ้นงานที่ยื่นออกมากลางอากาศ เกิดจากการที่พลาสติกชั้นบนถูกรองรับเพียงบางส่วนจากด้านล่าง ชิ้นงานที่พิมพ์ด้วยเครื่องแบบ FDM จึงไม่ควรให้มีส่วน Overhang เกิน 45 องศา มิฉะนั้นอาจทำให้เส้นพลาสติกย้อยตัวลงตามแรงโน้มถ่วง ทำให้ผิวชิ้นงานไม่เรียบดังรูป หากหลีกเลี่ยงไม่ได้จริงๆสามารถแก้ปัญหาได้โดยการใส่ Support

ภาพที่__การออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ : Overhang

ที่มา:https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing

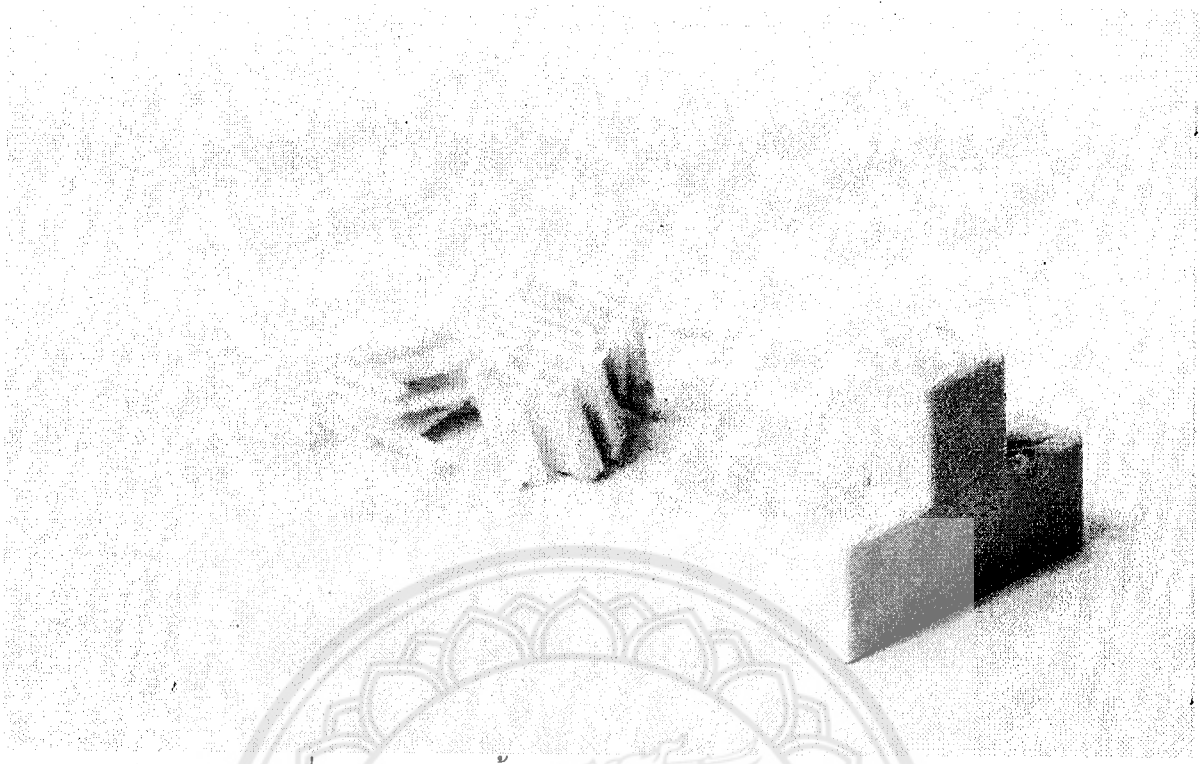
ระวังส่วน Bridging : Bridging แปลตรงตัวก็คือการทอดสะพาน เกิดขึ้นเมื่อเครื่องพิมพ์ต้องเชื่อมสะพานเพื่อปิดช่องว่างระหว่างสองจุดบนชิ้นงาน เนื่องจากชั้นด้านล่างไม่มีอะไรมารองรับ เส้นพลาสติกที่เป็นสะพานจึงมักจะย้อยลง ทางแก้คือพยายามลดขนาดของช่องว่างที่ต้องทำการ Bridging หรือใช้วิธีใส่ Support เพื่อป้องกันพลาสติกย้อยลงมา



ภาพที่__การออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ : Bridging

ที่มา:https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing

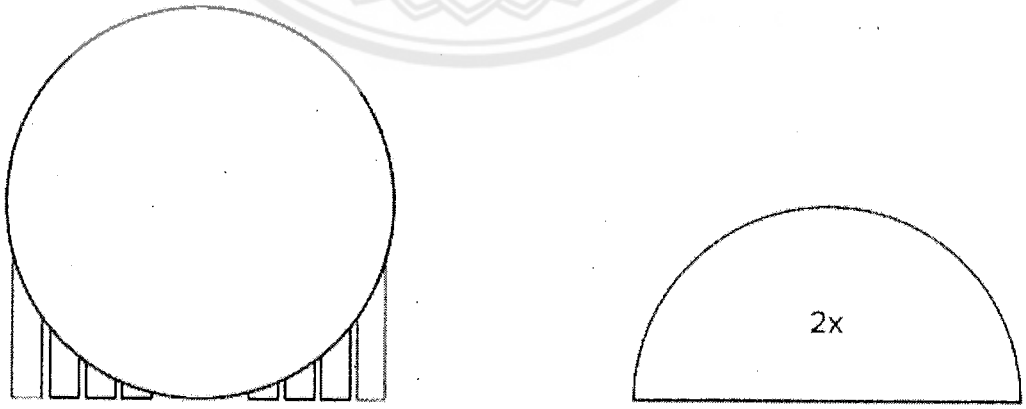
หากเป็นไปได้ควรพยายามหลีกเลี่ยงการใช้ Support ในชิ้นงาน เนื่องจากผิวของชิ้นงานที่สัมผัสกับ Support มักจะมีความขรุขระ ไม่เรียบเนียน ต้องนำไปขัดแต่งเพิ่มเติม ดังรูปประกอบด้านล่าง



ภาพที่__การออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ : Support

ที่มา:https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing

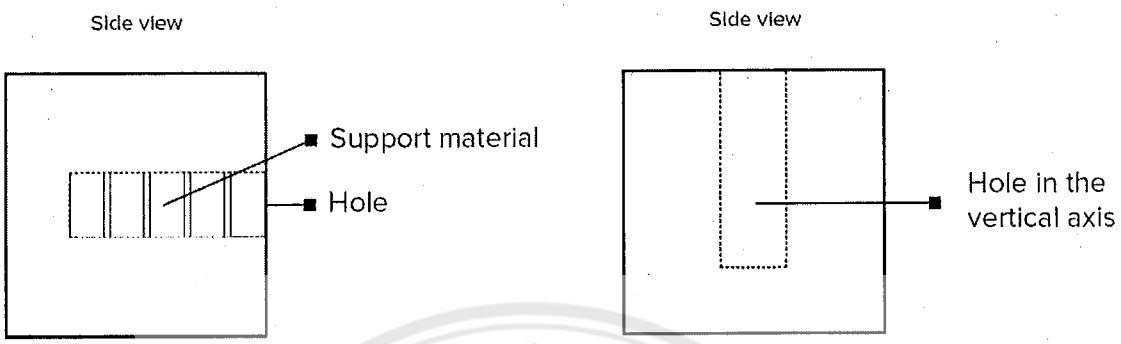
การหลีกเลี่ยงการใช้ Support ทำได้หลายวิธี การแยกชิ้นงานเป็นส่วนย่อยๆเพื่อพิมพ์ทีละส่วน สามารถลดความจำเป็นของ Support ได้ เช่นรูปลูกบอลด้านล่าง นอกจากนี้ยังช่วยลดความซับซ้อนและเวลาในการพิมพ์ชิ้นงานได้ด้วย (หลังพิมพ์เสร็จแล้วสามารถนำมาประกอบกันได้)



ภาพที่__การออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ : แบ่งส่วนชิ้นงาน

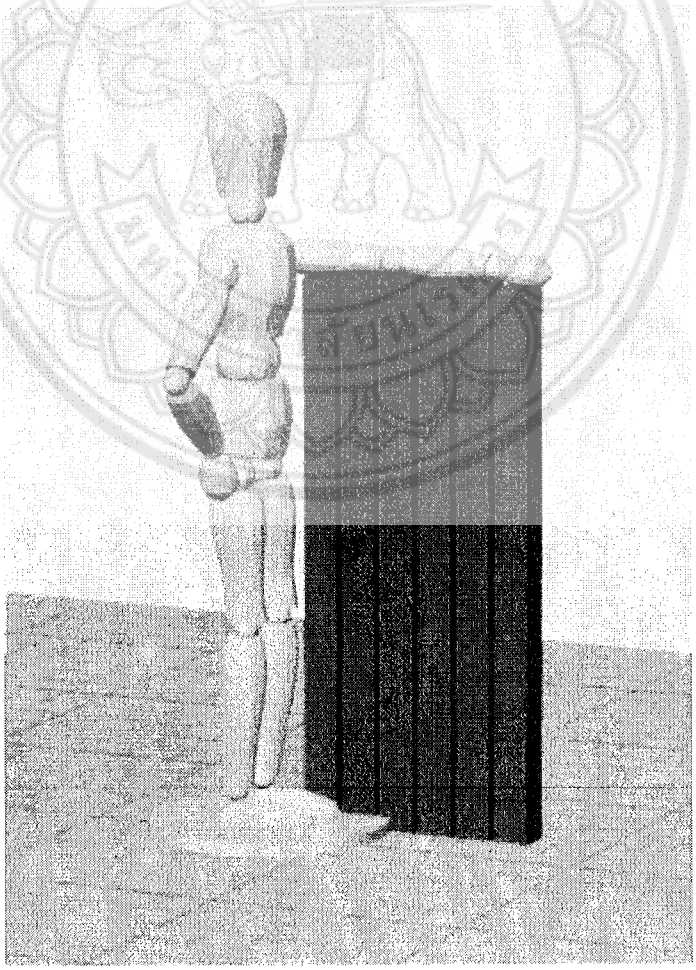
ที่มา:https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing

จัดวางทิศทางชิ้นงานให้เหมาะสมสามารถจัดวางทิศทางชิ้นงานเพื่อลดการใช้ Support ดังเช่นตัวอย่างต่อไปนี้



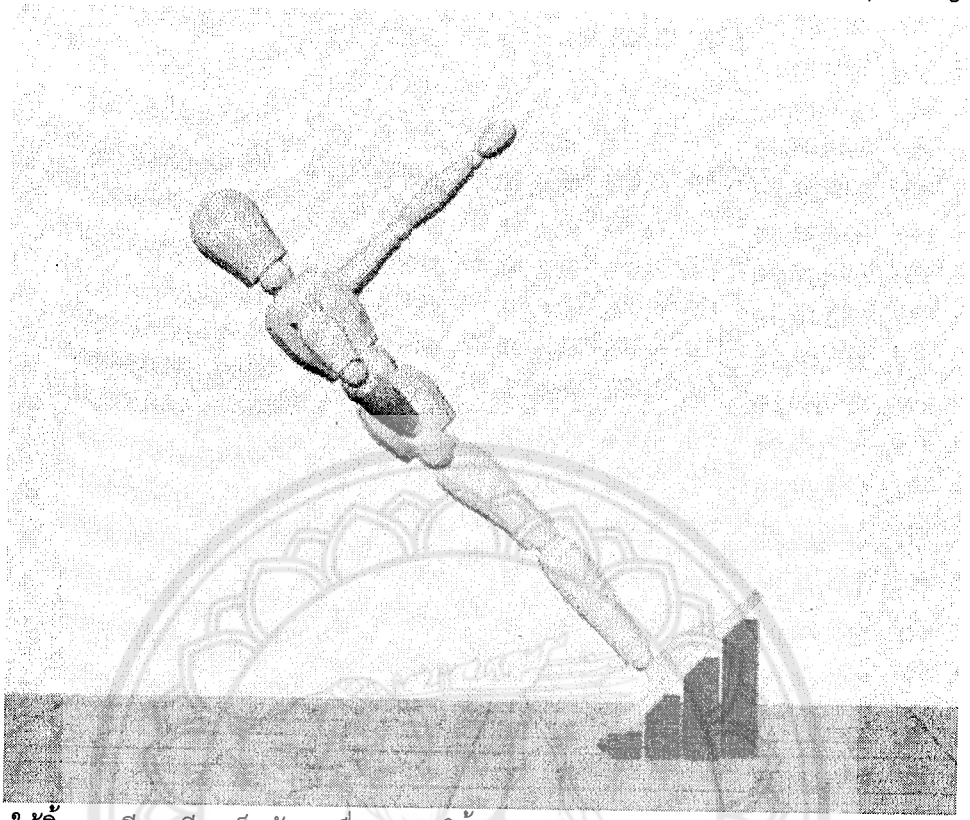
ภาพที่__การออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ : จัดวางทิศทางชิ้นงานให้เหมาะสม

ที่มา:https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing



ภาพที่__จัดวางชิ้นงานให้ส่วนที่เป็นรูหันขึ้นด้านบน เพื่อลดการใช้ Support

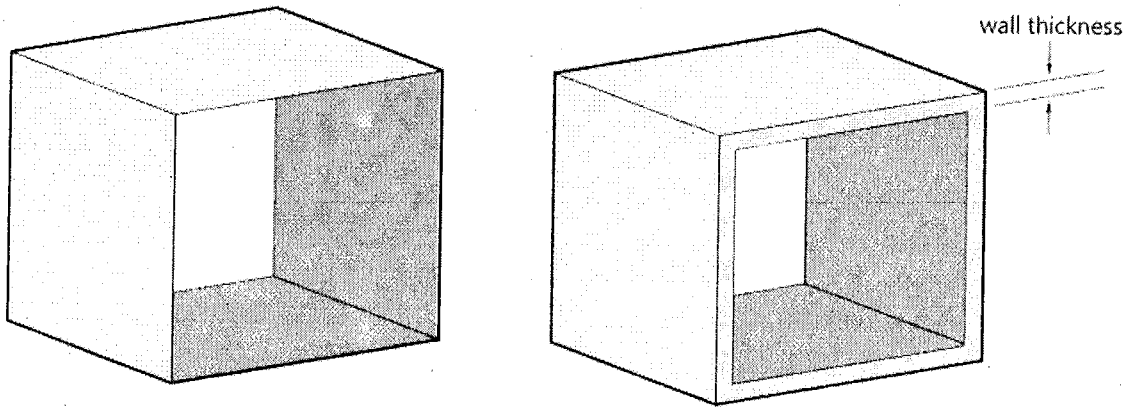
ที่มา:https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing



ภาพที่__จัดให้ชิ้นงานมีมุมเอียงเล็กน้อย เพื่อลดการใช้ Support และให้ Support อยู่ด้านล่างของฐาน ทำให้รอยแกะ Support ไม่เด่นชัด

ที่มา:https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing

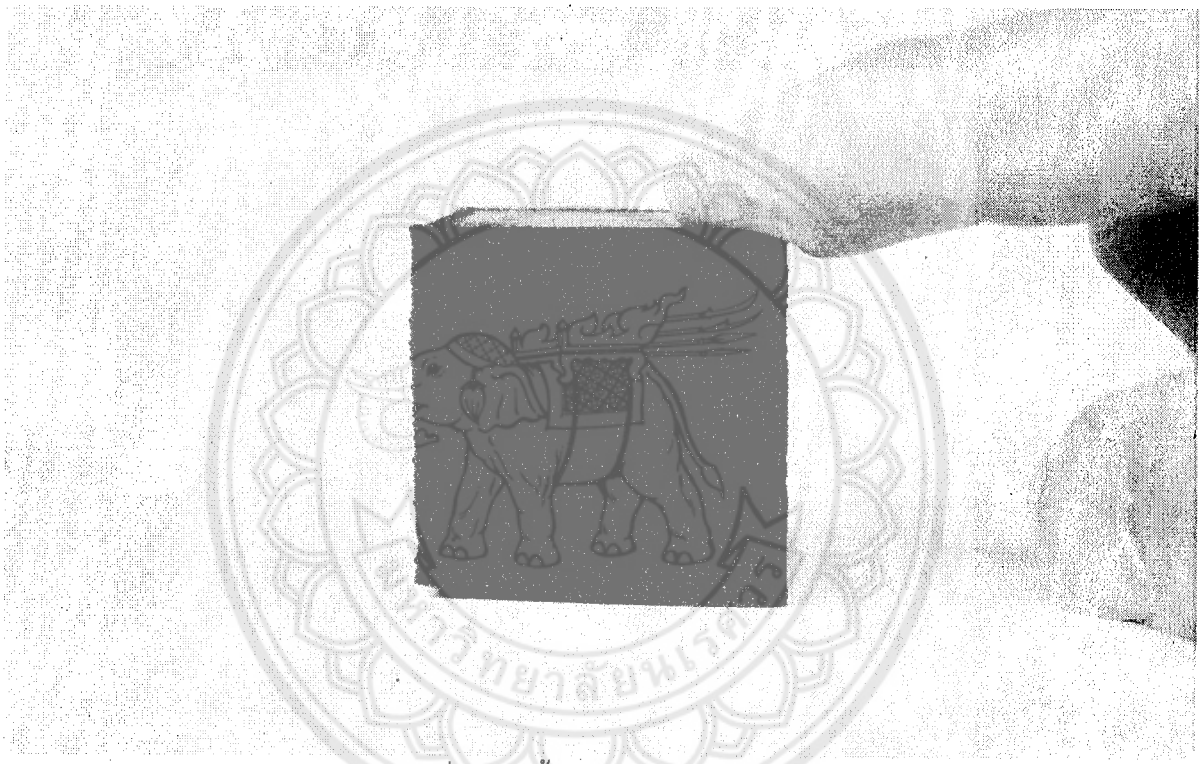
เปลือกชิ้นงานบางเกินไป Wall Thickness คือความหนาของกำแพงหรือเปลือกชิ้นงาน เครื่องพิมพ์ 3 มิติไม่สามารถพิมพ์กำแพงที่มีขนาดบางเกินไปได้ เนื่องจากหัวฉีดของเครื่องทั่วไปมีขนาด 0.4 mm ตามหลักการจึงไม่สามารถฉีดเส้นพลาสติกออกมาขนาดบางกว่า 0.4 mm ได้ ในความเป็นจริงเราแนะนำให้ตั้งความหนาของชิ้นงานไว้อย่างน้อย 1 mm เนื่องจากชิ้นงานที่บางเกินไปจะไม่แข็งแรง



ภาพที่__เปลือกชิ้นงานบางเกินไป Wall Thickness

ที่มา:https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing

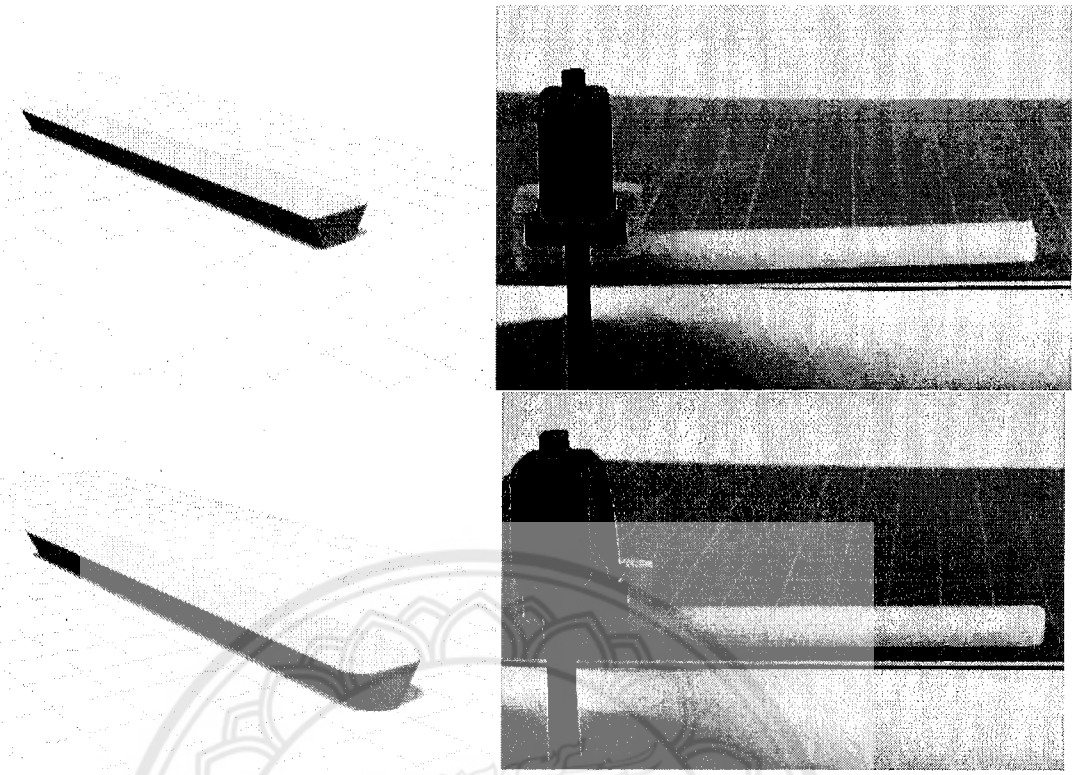
ขอบชิ้นงานแอ่นตัว Warping หรือการแอ่นตัวของชิ้นงานโดยเฉพาะ ABS หรือ Nylon เกิดจากการที่พลาสติกที่ฉีดออกมาเย็นลงและหดตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้ขอบชิ้นงานโก่ง ในขั้นตอนการออกแบบสามารถลดโอกาสที่จะเกิดการ Warp โดยการหลีกเลี่ยงรูปทรงที่มีฐานแบนๆใหญ่ๆ หรือชิ้นงานที่มีขนาดยาว นอกจากนี้ยังสามารถแก้ปัญหาได้โดยการ Calibrate เครื่องพิมพ์ให้ดี การเตรียมพื้นผิวฐานพิมพ์ หรือใช้วัสดุอื่นที่หดตัวน้อยกว่าเช่น PLA หรือ HIPS



ภาพที่__ขอบชิ้นงานแอ่นตัว Warping

ที่มา:https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing

นอกจากนี้การปรับแต่งรูปทรงของชิ้นงานยังมีส่วนช่วยป้องกันการแอ่นตัวได้ด้วย เช่นชิ้นงานที่มีขอบโค้งมน (Fillet) จะมีโอกาสแอ่นตัวน้อยกว่าชิ้นงานที่มีขอบเหลี่ยมๆตรงๆ (เกิดจากแรงดึงจากการหดตัวของเส้นพลาสติกในชิ้นงานที่มีมุมแหลม) ดังเช่นตัวอย่างชิ้นงานด้านล่าง เป็นรูปทรง Prism คว่ำหน้า จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่หน้าสัมผัสกับฐานพิมพ์เป็นมุมแหลมจะเกิดการแอ่นตัวได้ง่ายกว่า ส่วนชิ้นงานที่มีขอบโค้งมนจะไม่เกิดการแอ่นตัว



ภาพที่__เปรียบเทียบการแอ่นตัวของชิ้นงานที่มีขอบตรง (บน) และขอบโค้งมน (ล่าง)
ที่มา:https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing

ทศทิป สูนย์สาทร.(14 กรกฎาคม 2560).การพิมพ์ 3 มิติ ลดต้นทุนการผลิตของแม่พิมพ์ต้นแบบ.mmthailand.สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2561. https://www.mmthailand.com/การพิมพ์-3-มิติ-ลดต้นทุน-stratasys/

ทศทิป สูนย์สาทร.(9 สิงหาคม 2561). 7 ประเทศที่มีการใช้งาน 3D Printing มากที่สุดในปัจจุบัน. mmthailand.สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2561. https://www.mmthailand.com/7-ประเทศที่ใช้-3d-printingสูงสุด/

นัฐวัฒน์ โลหะนำเจริญ.(14 ตุลาคม 2558).เส้น ABS และ PLA สำหรับ 3D PRINTER แตกต่างกันอย่างไร. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2561.https://www.siamreprap.com/2015/10/3d-printer-difference-between-abs-and-pla/

นัฐวัฒน์ โลหะนำเจริญ.(14 ตุลาคม 2558).การทำงานของ 3D PRINTER ระบบ FDM.

สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2561.https://www.siamreprap.com/2015/10/what-is-fdm-3d-printer/

between-abs-and-pla/

นัฐวัฒน์ โลหะนำเจริญ.(14 มีนาคม 2559). 8 โปรแกรมฟรี สำหรับออกแบบโมเดล 3 มิติ เพื่อใช้กับ 3D Printer. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2561.https://www.siamreprap.com/2016/03/8-free-software- for-3d-printer/

วิไลพรรณ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา. (18 เมษายน 2560). ทางเลือกใหม่ในการสร้าง Tooling เปลี่ยนวิธีการทำงานแบบเดิมๆ สู่นวัตกรรมการสร้าง Tooling ด้วยเทคโนโลยี Additive Manufacturing เพื่อการผลิตยุคอุตสาหกรรม 4.0.สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2561, จาก http://www.siam3dprinter.com/tag/additive-manufacturing/

อสิพล อนันตอัมพร.(20 พฤษภาคม 2561). 3D Printer มีประโยชน์กับธุรกิจอย่างไร?. X3D Additive Manufacturing Technology.สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2561. https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/3d-printer-for-business

อสิพล อนันตอัมพร.(4 มกราคม 2559).3D Printing แบบ FDM คืออะไร.สืบค้นเมื่อ1 กันยายน 2561. https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/fdm-3d-printing

อสิพล อนันตอัมพร.(2 ธันวาคม 2559).การออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ / Designing for 3D Printing.สืบค้นเมื่อ1 กันยายน 2561. https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing

อสิพล อนันตอัมพร.(27 มกราคม 2559).การพิมพ์ 3 มิติคืออะไร- What is 3D Printing. สืบค้นเมื่อ1 กันยายน 2561. https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/what-is-3d-printing

Capucine Lonjon.(March 1,2017). Discover the history of 3D printer. **Sculpteo**. Retrieved Agust 20,2018.from https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main- 3d-printing-technologies

Hannah Bensoussan.(December 14,2016).The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today.**Sculpteo**. Retrieved Agust 20,2018 from https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/14/the-history-of-3d-printing-3d-printing- technologies-from-the-80s-to-today/

Luke Dormehl.(July 4,2018).15 major milestones along the brief history of 3D printing. DIGITAL TREND.Retrieved Agust 20,2018 from https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-3d-printing-milestones/

- **Selective laser sintering (SLS) หรือการยิงแสงเลเซอร์**

เทคโนโลยีนี้ใช้แสงเลเซอร์ที่มีพลังงานสูงในการหลอมรวมอนุภาคขนาดเล็กของพลาสติก โลหะ ผงเซรามิค หรือผงแก้วเข้าด้วยกันจนกระทั่งกลายเป็นชิ้นงานวัสดุสามมิติที่ต้องการ โดยแสงเลเซอร์จะหลอมผงวัสดุโดยการสแกนแต่ละชั้นจากโปรแกรมสร้างแบบสามมิติบนพื้นผิวของแท่นผงวัสดุ หลังจากสแกนแต่ละชั้นแล้ว แท่นผงวัสดุจะลดระดับลงตามความหนาของชั้นวัสดุหนึ่งชั้น หลังจากนั้นชั้นวัสดุชั้นใหม่จะถูกพ่นไว้ด้านบนและขั้นตอนนี้จะถูกทำซ้ำๆจนกระทั่งชิ้นงานสำเร็จ

เนื่องจากผงวัสดุที่เหลือจากการผลิตชิ้นงานนี้จะยังไม่ถูกแตะต้อง ดังนั้นจึงกลายเป็นข้อได้เปรียบเนื่องจากผงวัสดุที่ยังไม่ถูกใช้งานจะสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ในการพิมพ์ครั้งต่อไป เทคโนโลยีการพิมพ์แบบ Selective laser sintering (SLS) หรือการยิงแสงเลเซอร์นี้ถูกคิดค้นและจดลิขสิทธิ์ได้ ดร. คาร์ล เดคการ์ด แห่งมหาวิทยาลัยเทกซัสในช่วงกลางของปี 1980 ภายใต้การสนับสนุนจาก DARPA.

- **Fused deposition modeling (FDM) หรือการพิมพ์แบบใช้หัวฉีด**

เทคโนโลยีการพิมพ์แบบใช้หัวฉีดนี้ทำงานโดยใช้เส้นใยพลาสติกหรือลวดโลหะ และส่งผ่านวัสดุนี้ไปยังหัวฉีดที่สามารถเปิดปิดการไหลได้ หัวฉีดนี้จะความร้อนเพียงพอที่จะหลอมละลายวัสดุและเคลื่อนย้ายได้ทั้งทิศทางแนวนอนและแนวตั้ง โดยกลไกการควบคุมตัวเลขที่ควบคุมโดยตรงจากโปรแกรม Computer-aided manufacturing (CAM) วัตถุจะถูกผลิตขึ้นโดยที่หัวฉีดจะพ่นวัตถุดิบที่ละลายออกมาเป็นชั้นๆโดยวัตถุที่ถูกพ่นออกมาจากหัวฉีดนั้นจะแข็งตัวทันที

เทคโนโลยี FDM ถูกคิดค้นโดย สก็อต ครัมพ์ ในช่วงปลายยุค 80 หลังจากจดสิทธิบัตรแล้ว เขาก็เริ่มต้นก่อตั้งบริษัท Stratasys ในปี 1988 โดยมีซอฟท์แวร์ที่มาพร้อมกับเทคโนโลยีนี้โดยอัตโนมัติเป็นการสนับสนุน เครื่องจักรสามารถจัดการวัสดุได้สองแบบ คือแบบแรกสำหรับตัวต้นแบบ และแบบที่สองสำหรับโครงสร้างสนับสนุนที่ใช้แล้วทิ้ง

คำเรียกวิธีการ Fused deposition modeling และตัวย่อ FDM ถือเป็นเครื่องหมายการค้าของบริษัท Stratasys ดังนั้น คำที่เป็นทางเลือกได้แก่ Fused filament fabrication หรือตัวย่อ FFF จึงถูกนำมาใช้แทนโดยกลุ่มสมาชิกของโครงการ RepRap เพื่อความถูกต้องทางกฎหมาย

- **Stereolithography (SLA) หรือการพิมพ์โดยยิงลำแสงอุลตร้าไวโอเล็ต**

เทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการผลิต photopolymerization เพื่อผลิตชิ้นงานของแข็งขึ้นจากวัสดุเหลว ได้แก่เทคโนโลยี SLA เทคโนโลยีนี้ใช้วัสดุของเหลวแบบเรซินหรือ liquid ultraviolet curable photopolymer และใช้แสงเลเซอร์อุลตร้าไวโอเล็ตในการสร้างชั้นของวัตถุทีละชั้น ในแต่ละชั้น แสงเลเซอร์จะแทรกเข้าไปยังภาพตัดขวางของต้นแบบบนพื้นผิวของเรซินเหลว เมื่อสัมผัสกับแสงเลเซอร์ เรซินจะแข็งตัวและผนึกเข้ากับชั้นวัสดุด้านล่าง

หลังจากต้นแบบได้รับแสงเลเซอร์แล้ว ถาดก็จะเคลื่อนที่ลงตามระยะเท่ากับความหนาของชั้นหนึ่งชั้น โดยทั่วไปจะอยู่ที่ 0.05 มิลลิเมตรถึง 0.15 มิลลิเมตร (0.002 นิ้วถึง 0.006 นิ้ว) หลังจากนั้น ใบมีดที่

เคลือบเรซินเหลวจะเคลื่อนอย่างรวดเร็วทั่วภาพตัดขวางและเคลือบอีกชั้นด้วยวัตถุดิบเหลว พื้นผิวของเหลวชั้นใหม่นี้จะสัมผัสกับแสงเลเซอร์และผนึกเข้ากับชั้นก่อนหน้าจนสำเร็จเป็นชิ้นงานสามมิติที่สมบูรณ์ เทคโนโลยีนี้ถูกคิดค้นขึ้นในปี 1986 โดยชาร์ลส์ ฮัลล์ที่ได้ก่อตั้ง บริษัท 3D System ขึ้นในเวลาเดียวกันอีกด้วย

Stereolithography (SLA) a technique or process for creating three-dimensional objects, in which a computer-controlled moving laser beam is used to build up the required structure, layer by layer, from a liquid polymer that hardens on contact with laser light.

เทคนิคหรือกระบวนการสำหรับการสร้างวัตถุสามมิติซึ่งใช้ลำแสงเลเซอร์เคลื่อนที่ที่ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างโครงสร้างที่ต้องการโดยแบ่งชั้นจากพอลิเมอร์เหลวที่แข็งตัวเมื่อสัมผัสกับแสงเลเซอร์

https://www.academia.edu/1507915/3-D_Printing_of_Open_Source_Appropriate_Technologies_for_Self-Directed_Sustainable_Development สืบค้นเมื่อ180961

การพิมพ์ต้นแบบ3มิติ จากเครื่องพิมพ์สามมิติหรือ 3D Printer นั้น มีการทำงานที่หลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานสอดคล้องกับ (pim3d.2015)เครื่องพิมพ์สามมิติแต่ละเครื่องไม่ได้ใช้เทคโนโลยีเดียวกันทั้งหมดขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การใช้งาน เนื่องจากมีเทคโนโลยีการพิมพ์ที่หลากหลายในการพิมพ์วัตถุสามมิติที่ตั้งแต่ปี 2012 เป็นต้นมานั้นสารเติมแต่งจะแตกต่างกันในกรรมวิธีการสร้างชั้นแต่ละชั้นก่อตัวขึ้นเรื่อยๆเพื่อผลิตวัตถุออกมาเป็นชิ้นงานสำเร็จ บางวิธีการจะใช้วัตถุดิบที่เป็นของเหลวหรือนิ่มในการผลิตชั้น และเทคโนโลยีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการพิมพ์วิธีนี้คือการใช้ Selective laser sintering (SLS) หรือการยิงแสงเลเซอร์และ Fused deposition modeling (FDM) หรือการพิมพ์แบบใช้หัวฉีด อีกวิธีหนึ่งในการพิมพ์ได้แก่การวางวัตถุดิบซึ่งเป็นของเหลวที่จะแข็งตัวโดยการใช้เทคโนโลยีต่างๆ โดยเทคโนโลยีที่นิยมนำมาใช้ในวิธีการนี้ได้แก่ Stereolithography (SLA) หรือการพิมพ์โดยยิงลำแสงอุลตร้าไวโอเล็ต

และจากบทความวิจัยเรื่อง ข้อต่อและการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ (Kinematic Modeling of Robotic Manipulators) มีความเห็นและผลการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้

บทความนี้นำเสนอการทบทวนอย่างละเอียดถี่ถ้วนการสร้างแบบจำลองจลศาสตร์ของหุ่นยนต์ในระบบลักษณะ. มีเทคนิคมากมายในเอกสารอ้างอิง หนังสืออย่างไรก็ตามสำหรับการสร้างแบบจำลองจลศาสตร์ของหุ่นยนต์ ความกำกวมคลุมเครืออยู่กับผู้ใช้เพื่อเลือกที่เหมาะสมที่สุดวิธี. บทความนี้นำเสนอการศึกษาเปรียบเทียบของเทคนิคการสร้างแบบจำลองจลศาสตร์ต่าง ๆ ในแง่ของความซับซ้อนการบังคับใช้ของวิธีการในชั้นเรียนเฉพาะของหุ่นยนต์และจำนวนพารามิเตอร์หรือตัวแปรที่ต้องการกำหนดหุ่นยนต์ ความมุ่งมั่นของจลนศาสตร์ที่ถูกต้องพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาโมเดลจลศาสตร์ที่แม่นยำการใช้วิธีการต่าง ๆ ได้แสดงให้เห็นโดยการพิจารณากรณีศึกษาห้าองศาอิสระ(DOFs) หุ่นยนต์พูดชัดแจ้ง ยิ่งกว่านั้นมีเจ็ดอานนท์หุ่นยนต์ถือเป็นส่วนสำคัญและที่อยู่ความไม่สอดคล้องกันของวิธีการที่เป็นที่นิยมในขณะที่จัดการกับไฮบริดสลีเชิงพื้นที่ ในบทความนี้รีวิวจาก 100 บทความ นำเสนอรายงานการวิจัยเพื่อตรวจสอบจลนศาสตร์ศึกษาหุ่นยนต์หุ่นยนต์ที่มีการสร้างแบบจำลองที่หลากหลายเทคนิคซึ่งมีการพัฒนาหรือการกลั่นในช่วงที่ผ่านมาในช่วง 60 ปี (2498-2559)

ในช่วงสามทศวรรษที่ผ่านมาสาขาหุ่นยนต์ได้กว้างขึ้นช่วงของการใช้งานเนื่องจากการพัฒนาล่าสุดในโดเมนหลักของวิทยาการหุ่นยนต์เช่นจลนศาสตร์พลศาสตร์และการควบคุมซึ่งนำไปสู่การเติบโตอย่างฉับพลันของหุ่นยนต์การใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่นการผลิตการแพทย์การผ่าตัด, การป้องกัน, ยานอวกาศ, การสำรวจใต้น้ำแอปพลิเคชั่นที่ไม่อยู่ในรายการยกเว้นรายการแรกอื่น ๆ ทั้งหมดแอปพลิเคชันเป็นแอปพลิเคชันขั้นสูงของหุ่นยนต์ นี่คือส่วนใหญ่เป็นเพราะกลไกที่ค่อนข้างซับซ้อนโครงสร้างของเครื่องมือปรับแต่งเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับกลไกโครงสร้างตัวจัดการหุ่นยนต์สามารถจำแนกได้ตามที่แสดงในรูปที่ 1

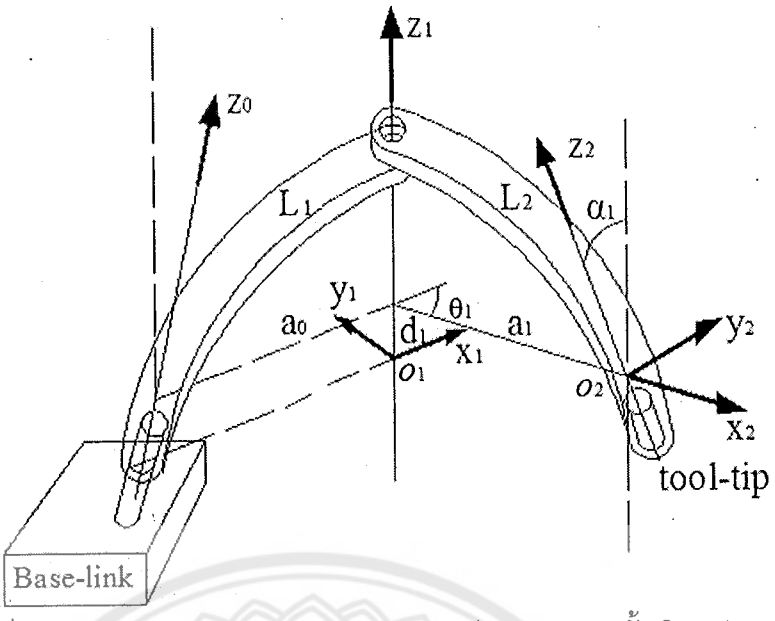
ในการใช้เครื่องมือจัดการหุ่นยนต์ในแอปพลิเคชันในชีวิตจริงขั้นตอนแรกคือการขอรับโมเดลจลศาสตร์ที่ถูกต้อง ในเรื่องนี้บริบทการวิจัยจำนวนมากได้ดำเนินการในวรรณคดีซึ่งนำไปสู่วิวัฒนาการของการสร้างแบบจำลองใหม่แผนการพร้อมกับการปรับแต่งวิธีการที่มีอยู่การอธิบายจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ผู้ควบคุมจากการทบทวนวรรณกรรมที่ละเอียดถี่ถ้วนแล้วจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์สามารถจำแนกได้กว้างตามที่แสดงใน

2 การทบทวนวรรณกรรม

วิธีการที่มีอยู่ในวรรณคดีสำหรับการสร้างแบบจำลองจลนศาสตร์แสดงในรูปที่ 2 สิ่งเหล่านี้จะกล่าวถึงในส่วนนี้ถึงเน้นถึงวิวัฒนาการการปรับแต่งประโยชน์และความเสื่อมของแต่ละวิธี

2.1 วิธี Denavit และ Hartenberg (D – H)

ความพยายามครั้งแรกของผู้บุกเบิกการสร้างหุ่นจำลองของหุ่นยนต์ manipulators ทำโดย Denavit และ Hartenberg [1] ใน



รูปที่ 3 การแสดงแผนผังของวิธีการพารามิเตอร์ D – H แบบดั้งเดิม

อธิบายถึงการนำเสนอแผนผังของ D-H ดั้งเดิมวิธีพารามิเตอร์ด้วยความช่วยเหลือของสองลิงค์เชิงพื้นที่กลายเป็นคู่ล่าง (ผิวสัมผัสกับพื้นผิว) ที่พารามิเตอร์การเชื่อมโยง a1, a1 มีการวัดตาม x2 และข้อต่อพารามิเตอร์ d1 และ h1 ถูกวัดตาม z1 การดัดแปลงวิธีพารามิเตอร์ D – H ดั้งเดิมสองครั้งได้รับการรายงานในวรรณคดีครั้งแรกโดย Kahn และ Roth [3] และที่สองโดย Featherstone [4] การดัดแปลงเหล่านี้ได้รับผลต่อเนื่องจากชิ้นส่วนด้านล่าง และถัดไปเพื่อดำเนินการทำแผนที่พิกัด(การเปลี่ยนแปลง) วิธีการที่นำเสนอจะใช้โดยตรงกับวิธีเมทริกซ์ที่มีอยู่ของการแปลงพิกัดอย่างไรก็ตามเพื่อลดภาระในการรวบรวมข้อมูลตัวเลขรูปแบบที่ได้รับการนำเสนอ [15]ในวิธีการที่เสนอแต่ละเมทริกซ์การแปลงประกอบด้วยสองส่วนซึ่งมีดังนี้:

1. Shape matrix ส่วนคงที่ที่ระบุรูปร่างของ a ลิงก์โดยใช้หกพารามิเตอร์ รูปร่างของลิงค์คือระบุโดยการวางแนวสัมพัทธ์ของเฟรมพิกัดที่จุดเริ่มต้นของการเชื่อมโยงและอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้จุดสิ้นสุดของลิงก์ เพื่อกำหนดพารามิเตอร์รูปร่างคงที่สำหรับลิงก์พบแนวตั้งฉากทั่วไประหว่างสองแกนและมอบหมายด้วยค่าบวกโดยพลการทิศทาง.
2. เมทริกซ์ร่วมการแปลงลิงค์เอกพันธ์เป็นเนื้อเดียวกันเมทริกซ์ซึ่งเป็นหน้าที่ของตัวแปรร่วม (revolute หรือ prismatic) ยิ่งไปกว่านั้นมันมีความแตกต่าง ส่วนตัวแปรที่เป็นตัวแทนของการเคลื่อนไหวร่วมกัน

ในอดีตที่ผ่านมาในสาขาหุ่นยนต์และคอมพิวเตอร์กราฟิก quaternion สองได้รับการยอมรับอย่างมีนัยสำคัญในการอธิบายการเคลื่อนไหวร่างกายแข็งที่อ [69] ในขณะที่ได้รับสมการจลนศาสตร์ของกลไก 3 มิติบอกถึงรายงานว่า quaternions คู่มีประโยชน์สำหรับการเคลื่อนที่ของสกรู มันได้รับการรายงาน[60, 61, 67, 68, 77] quaternion คู่นั้นเป็นเรื่องง่ายทางเศรษฐกิจที่คมชัดและเป็นระบบเพื่อแสดงการหมุนเวียนและการ

แปล Quaternions มีการใช้อย่างกว้างขวางเพื่ออธิบายตำแหน่งและทิศทางของวัตถุในเงื่อนไขของพารามิเตอร์ [74, 79, 80] หน่วย quaternions มีถูกใช้โดย Horn [81] เพื่อแสดงการหมุน [82] ใช้ quaternion คู่เพื่อสร้าง 7-link, 7R กลไก. ชุดรูปแบบการควบคุม PID ตามหน่วย quaternion ได้รับการเสนอโดย Wang and Yu [83] วิธีพีชคณิตแบบควอเทอเรียนของรูปร่างลิงก์และการเคลื่อนไหวข้อต่อได้รับการเสนอโดย Sahu และคณะ [19] วิธีนี้เร็วกว่าเพราะต้องการพารามิเตอร์จำนวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการขึ้นอยู่กับเมทริกซ์การแปลงเนื้อเดียวกันเพื่อ นิยามอิสรภาพหกองศา นอกจากนี้ภาวะแทรกซ้อนน้อยลงมีความเข้าใจในการรับรองที่ได้รับด้วยวิธีนี้ มีการรายงานโดย Sahu และคณะ [19]พีชคณิต quaternion นั้นถูกใช้เพื่อเป็นตัวแทนที่เข้มงวด การแปลและการหมุนเวียนของร่างกาย อย่างไรก็ตามมันยังไม่ได้รับยังใช้สำหรับการใช้งานจริงของผู้ควบคุมหุ่นยนต์ดังนั้นวัตถุประสงค์ของผู้เขียนคือการพัฒนาบทความและวิธีขึ้นอยู่กับพีชคณิต quaternion เพื่อเป็นตัวแทนของหุ่นยนต์กลศาสตร์การเคลื่อนไหว

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรมในครั้งนี้ เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน (mixed research) ซึ่งเป็นการใช้วิธีการวิจัยเชิงทดลองและวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพร่วมกันในงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อออกแบบพัฒนารูปแบบและการทดลองใช้วัสดุเพื่อการสร้างผลงานการออกแบบสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อต่อยอดไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมแอนิเมชั่นในประเทศไทย และนำไปสู่ทางเลือกใหม่ๆในการออกแบบผลงานภาพเคลื่อนไหวสต็อปโมชั้นแอนิเมชั่น ได้เป็นแนวทางการศึกษาและพัฒนาการออกแบบผลิตภัณฑ์และวัสดุ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์รูปแบบเทคนิควิธีการออกแบบสต็อปโมชั่นแอนิเมชันที่มีในภาพยนตร์ที่ผ่านมา

1.1 ศึกษาเอกสารปฐมภูมิ (Primary Source) และวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัย เอกสาร ตำรา บทความวิชาการ บทสัมภาษณ์นักออกแบบ วิเคราะห์ผลงานสต็อปโมชั่นแอนิเมชันที่สร้างขึ้น และได้รับการเผยแพร่ในระดับสากล จาก จนถึงปัจจุบัน จากจำนวน เรื่อง เพื่อศึกษาถึงเทคนิควิธีการ วัสดุที่ใช้ทำผิวเนื้อของตัวละคร

1.2 จากนั้นนำมาเรียบเรียง วิเคราะห์เป็นดัชนีข้อมูล (Index) เพื่อแยกแยะข้อมูลต่างๆเป็นหมวดหมู่ ก่อนทำการวิเคราะห์สืบค้นหาหัวข้อสรุป (Topic/subcategory) กลุ่มหัวข้อสรุป (Category) และแบบแผน (pattern/theme) ของข้อมูลเพื่อนำมาใช้เป็นแบบจำลอง กรอบความรู้นำไปสู่แนวทางการพัฒนาวัสดุในการออกแบบผิวเนื้อของตัวละคร และการออกแบบสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นขึ้นมา

ตอนที่ 2 การพัฒนารูปแบบ การออกแบบการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมและสามารถนำมาใช้สำหรับการเป็นโครงสร้างของตัวละครสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น และสามารถนำไปผลิตได้จริงในระบบอุตสาหกรรม

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาเบื้องต้นถึงการออกแบบรูปแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น เพื่อใช้เตรียมตัวละครสำหรับภาพยนตร์ที่แอนิเมชัน โดยแบ่งขั้นตอนในการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. ศึกษาเอกสาร ตำรา ผลงานวิจัยวิธีการ กระบวนการออกแบบและสร้างที่เกี่ยวข้องในด้านการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเทคนิค Stop-motion
2. สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องด้านการออกแบบภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิค Stop-motion นักออกแบบอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุประเภทต่างๆ
3. ทดลองและพัฒนาวัสดุที่เหมาะสมกับการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น ทำต้นแบบ เพื่อทำการสร้างโมลหล่อแบบให้ตัวหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น
4. สร้างกระบวนการผลิตที่เหมาะสมกับงานวิจัยการออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ
5. ทดสอบประสิทธิภาพ และความพึงพอใจของหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น ด้วยผู้เชี่ยวชาญและบุคคลที่เกี่ยวข้อง

ระยะที่ 2 เป็นการนำผลของข้อมูลในการศึกษาขั้นต้น นำมาออกแบบพัฒนาสร้างสรรค์เป็นผลงานภาพยนตร์แอนิเมชั่นขึ้น เป็นเรื่องต้นแบบเพื่อใช้ทดสอบวัสดุที่เหมาะสมกับการศึกษาวิจัยครั้งนี้เมื่อผลงานสำเร็จ

2.1 ออกแบบภาพยนตร์แอนิเมชั่นในเทคนิค Stop-motion จำนวน 3 นาที

2.2 ทดสอบทดลองสร้างภาพยนตร์แอนิเมชั่นจากหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นที่ออกแบบสร้างไว้ เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล ทดสอบความเหมาะสมของวัสดุที่ทำการศึกษาวิจัยขึ้น ได้ภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิค Stop-motion ขึ้นมา

2.3 ประเมินผลสัมฤทธิ์ของงานวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุ และด้านแอนิเมชั่นจำนวนไม่ต่ำกว่า 5 คน

2.4 สรุปข้อมูลผลงานการศึกษาวิจัยรวบรวมเป็นเอกสารเผยแพร่ และนำเสนอผลงานแอนิเมชั่นเพื่อเผยแพร่ตีพิมพ์ต่อไป

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องปริ้นท์สามมิติ
2. วัสดุโลหะ เช่นอะลูมีเนียม
3. วัสดุพลาสติกสำหรับปริ้นท์
4. อุปกรณ์สำหรับทำแม่พิมพ์ เช่น ปูนพลาสเตอร์ ปูนเขียว สำหรับทำตัวละคร

3.2 เครื่องปริ้นท์สามมิติ

วิธีการทดลอง

3.2.1 การใช้วัสดุพลาสติกสำหรับปริ้นท์สามมิติ

1. การทดลองวัสดุพลาสติก PVC ไนล่อล และประเภทอื่นๆ สำหรับปริ้นท์ชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างแบบสามมิติ

2. การเตรียมวัสดุโลหะเพื่อนำมาใช้ผสมกับวัสดุอื่นๆ

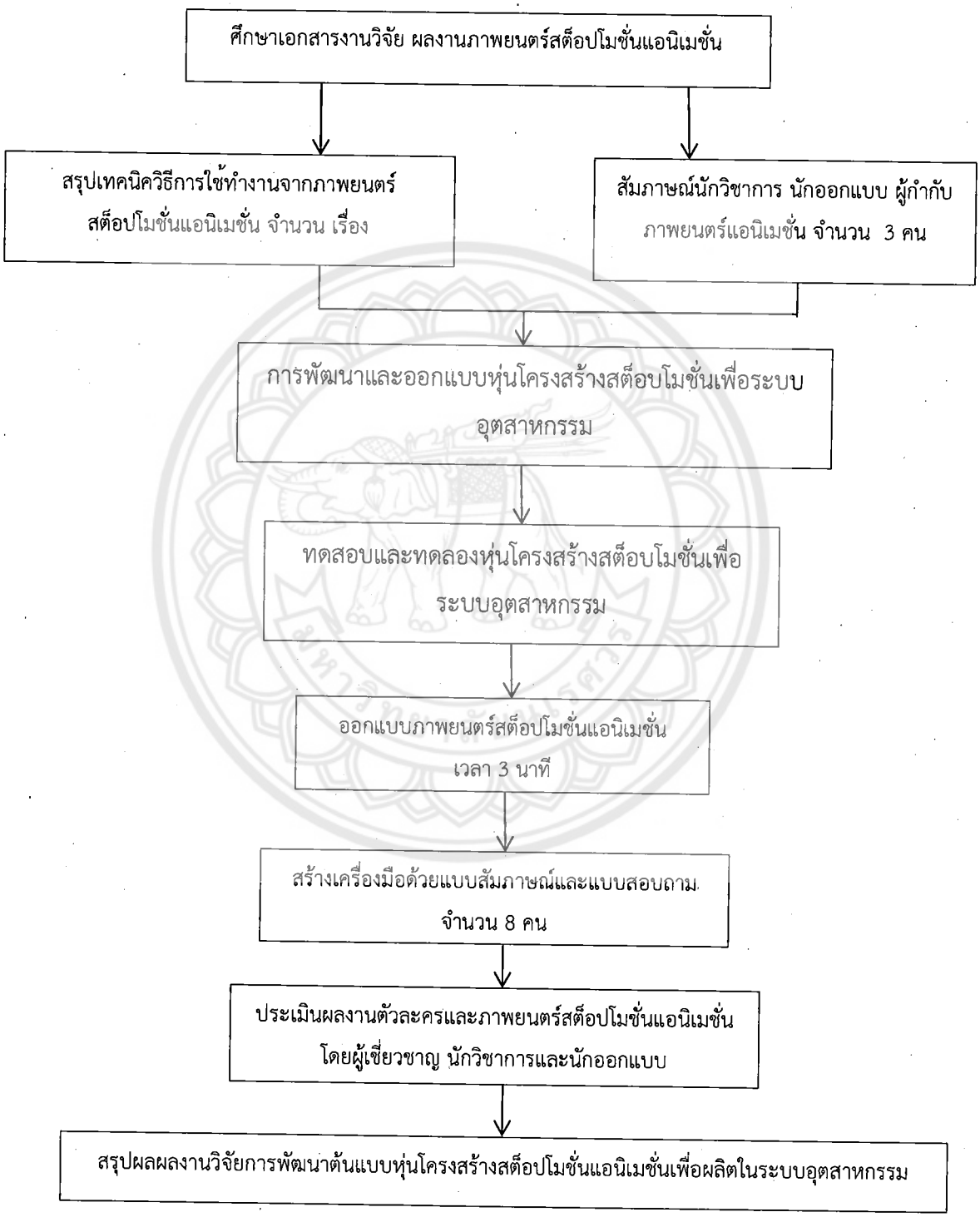
ขั้นที่ 2 ในส่วนการออกแบบสต็อปโมชั่นแอนิเมชัน

2.1 สรุปข้อมูลจากการศึกษาเอกสาร ตำรา งานวิจัย ผลงานภาพยนตร์สต็อปโมชั่นแอนิเมชัน จำนวน เรื่อง และสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องด้านการออกแบบพัฒนารูปแบบศิลปกรรมและโครงสร้าง (Armature Stop motion) ของตัวละครและผลงานออกแบบภาพเคลื่อนไหว

2.2 ออกแบบผลงานสต็อปโมชั่นแอนิเมชัน โดยวิธีการดำเนินเรื่อง เทคนิคการนำเสนอ การเปลี่ยนภาพ เทคนิคพิเศษทางภาพ จำนวน 1 เรื่องความยาวประมาณ 3-5 นาที

2.4 ประเมินผลงานโดยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน โดยวิธีสัมภาษณ์เจาะลึก (In-Depth interview)

2.5 จัดแสดงผลงานสต็อปโมชั่นแอนิเมชันต่อสาธารณะชน จัดฉายทางออนไลน์ Youtube ,Facebook สื่อสาธารณะต่างๆ



กรอบวิธีการศึกษาวิจัย

ตอนที่ 3 การประเมินผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจ ต่อหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชันที่สร้างขึ้นมา

3.1 ศึกษาเอกสาร ตำรา งานวิจัย และสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับ การประเมินผลสัมฤทธิ์

3.2 สร้างเครื่องมือประเมินผลสัมฤทธิ์ที่มีต่อสต็อปโมชั่นแอนิเมชันที่สร้างจากยางพารา

3.3 ตรวจสอบเครื่องมือแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ที่มีต่อสต็อปโมชั่นแอนิเมชันที่สร้างจากโครงสร้างที่ออกแบบขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ นักวิชาการจำนวน 3 คน

3.4 วิเคราะห์ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ที่มีต่อสต็อปโมชั่นแอนิเมชันที่สร้างจากโครงสร้างที่ออกแบบขึ้นสำหรับระบบอุตสาหกรรม

ตอนที่ 4 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

กาศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรมโดยวิธีการพรรณนาอธิบายปรากฏการณ์ตามขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ในแต่ละส่วนตามขั้นตอนของวัตถุประสงค์เพื่อให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย การสรุป อภิปรายผลข้อเสนอแนะของการวิจัยจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการศึกษาเอกสาร และสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเพื่อสรุปผลและแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ศึกษาในงานวิจัยในครั้งนี้ ใช้การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิจัยโดยกำหนดกลุ่มเป็น 2 กลุ่มได้แก่

1.1 ศึกษาวิเคราะห์จากผลงานสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นที่มีการเผยแพร่ทางสาธารณะ ตั้งแต่ปี พ.ศ. จนถึงปัจจุบัน

ประชากร เนื้อหาวิเคราะห์ศึกษารูปแบบเทคนิค จากผลงานการออกแบบภาพยนตร์สต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น ตั้งแต่ปีพ.ศ. จนถึงปัจจุบัน จำนวน เรื่อง

กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 10 เรื่อง จากการคัดเลือกจากผลงานที่เป็นที่รู้จักในวงกว้างเป็นที่ยอมรับ และเป็นสต็อปโมชั่นแอนิเมชันที่ถูกบันทึกไว้ในประวัติศาสตร์แอนิเมชั่นที่มีระบบการเตรียมงานออกแบบภาพยนตร์แอนิเมชันอย่างเป็นขั้นตอน มีทุนสร้างในระดับสูง(เพราะจะมีทีมวิจัยทีมเตรียมงามอย่างครบทุกด้านในการทำงานตามระบบอุตสาหกรรมฯ) รวมถึงเรื่องที่ได้รับรางวัลระดับชาติและระดับนานาชาติ ซึ่งประกอบด้วย

1) Wallace and Gromit ปี 1989 พศ. 2532

2) The Nightmare Before Christmas ปี คศ. 1993 พศ. 2536

3) James and the Giant Peach ปี คศ. 1996 พศ. 2539

4) Corpse Bride ปี คศ. 2005 ปี พศ. 2548

5) Coraline ปี คศ. 2009 ปี พศ. 2552

6) ParaNorman ปี คศ. 2012 ปี พศ. 2556

7) Frankenweenie ปี คศ. 2012 ปี พศ. 2556

8) The boxtrolls ปี คศ. 2014 ปี พ.ศ. 2557

9) Anomalisa ปี 2015 ปี พ.ศ. 2558

10) Kubo And The Two Strings ปี 2016 ปี พ.ศ. 2559

11) Early Man ปี 2017 ปี พ.ศ. 2560

12.) ISLE OF DOGS ปี 2018 ปี พ.ศ. 2561

และมีผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบเครื่องมือการวิเคราะห์การออกแบบสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นสมัย ดังนี้

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวีรัศมิ์ พรหมรัตน์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิจจัง ปิงใจ คณะศิลปกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

3. นายสดายุ โสจิยะ ผู้กำกับศิลป์ บริษัทกันตนาแอนิเมชั่น และ Big Brain Animation Studio

1.2 เผยแพร่ภาพยนตร์สต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อทดลองหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่น จำนวน 3 นาที สู่สาธารณะ Youtube ,Facebook ,Vemio

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลความสัมฤทธิ์ผลต่อภาพยนตร์สต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นที่สร้างจากยางพาราธรรมชาติโดยเลือกใช้การวิจัยแบบสอบถามเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ผสมผสานกับการวิจัยเชิงคุณภาพแบบสัมภาษณ์แบบเจาะลึก

เครื่องมือที่ ใช้ในการวิจัย

การดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยศึกษาเอกสาร และตรวจเครื่องมือโดยผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อนำเครื่องมือเก็บรวมรวมข้อมูลในการวิเคราะห์ ประกอบด้วยเครื่องมือดังนี้

1. การสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (Indepth Interview) เพื่อการทดสอบและสังเกตุการณ์

2. เครื่องมือการประเมินประเมินผลสัมฤทธิ์ ด้วยแบบสอบถามเชิงปริมาณ (Quantitative Research)

การสร้างเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัย การพัฒนายางพาราเพื่อออกแบบพื้นผิวและสีของตัวละครสำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น ผู้วิจัยสร้างเครื่องมือการวิจัยแบบผสมผสาน (mixed

research) เป็นการใช้วิธีการวิจัยเชิงทดลอง และการวิจัยเชิงคุณภาพในผลงานวิจัยเดียวกัน เพื่อค้นหาความสัมฤทธิ์ในผลงานการออกแบบภาพยนตร์สต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นที่สร้างจากยางพาราธรรมชาติโดย ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มประชากร ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญ นักวิชาการ และนักออกแบบผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือดังนี้

1. การสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (Indepth Interview) ผู้วิจัยใช้การสัมภาษณ์กลุ่มผู้เชี่ยวชาญชาวไทย นักวิชาการ นักออกแบบตัวละคร และนักออกแบบผลิตภัณฑ์ อย่างเป็นทางการเพื่อวิเคราะห์ผลงานการออกแบบภาพยนตร์สต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น วิธีการสร้างเครื่องมือโดยการสัมภาษณ์ผู้ทรงคุณวุฒิ แล้วสร้างแนวคำถามแบบเจาะลึก เกี่ยวกับการประสิทธิภาพ ความเหมาะสม การใช้งาน และการคุ้มค่า จำนวน 10 ท่าน

1. คุณวันเฉลิม ชูตระกูล ผู้กำกับแอนิเมชั่นบริษัทกันตนาแอนิเมชั่น
2. ยงวิทย์ สันธนพานิช กรรมการผู้จัดการบริษัท แมสรูมแอนิเมชั่น
3. นล กิตติอำพน Layout Artist บริษัท Riff Studio
4. อนุกูล สุวรรณรังสี ตำแหน่งผู้อำนวยการ บริษัท BLAH
5. อนุศาสตร์ ทรัพย์เจริญไชย Creative Director บริษัท BLAH และ Layout Supervisor บริษัท Riff Studio
6. อาจารย์บันลือ กุณรักษ์ ผู้กำกับสต็อปโมชั่น แอดมินเว็ปเพจ สต็อปโมชั่นไทย
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิจจัง พันธะพจน์ อาจารย์ประจำสาขานิเทศศิลป์ รองคณบดีคณะศิลปกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
8. อาจารย์แทน พิธิยานุวัฒน์ อาจารย์ประจำภาควิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะศิลปกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

และผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำปรึกษางานวิจัยในครั้งนี้อีก 2 ท่าน ได้แก่

9. คุณศุภพงศ์ สอนสังข์ นักออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ปรึกษางานออกแบบผลิตภัณฑ์จากยางพารา และนักออกแบบรางวัลศิลปาธรปี 2547
10. คุณพิเชษฐ วงศ์จันทร์สม ผู้กำกับเทคนิคพิเศษภาพยนตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการทำแม่พิมพ์หุ่นโมเดลประเภทต่างๆ บริษัทภาพยนตร์รับงานภาพยนตร์ไทยและต่างประเทศ เช่นภาพยนตร์เรื่องพี่มากพระขโนง ลัดดาแลนด์

สำหรับการประเมินกระบวนการออกแบบภาพยนตร์สต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นที่สร้างจากยางพาราธรรมชาติโดยผู้วิจัยใช้การสัมภาษณ์กลุ่มผู้เชี่ยวชาญชาวไทย ผู้เชี่ยวชาญชาวต่างประเทศ นักวิชาการ นักออกแบบตัวการ์ตูน และศิลปินร่วมสมัยไทย การสร้างกระบวนการออกแบบภาพยนตร์สต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นที่สร้างจากยางพาราธรรมชาติโดยมีเกณฑ์การวิเคราะห์ผลงานการออกแบบร่วม ตามหลักเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของผลงาน โดยแบ่งเป็นประเด็นดังนี้

1. 1.กระบวนการออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้าง สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion (Structure)

2. ลักษณะการใช้งานของวัสดุหุ่นโครงสร้าง เพื่อออกแบบการเคลื่อนไหวของตัวละครสำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น

3. ส่วนของการกำหนดท่าทางการเคลื่อนไหว ของแอนิเมชั่น (Animated)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลจากเอกสาร ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารวิชาการในเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม และภาพยนตร์จากงานรางวัลภาพยนตร์ต่าง ๆ เพื่อจัดหมวดหมู่ข้อมูลตามประเด็นที่ศึกษาได้แก่ ประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวกับตัวละคร กระบวนการที่ทำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม การทำสีของผลงาน การประยุกต์ใช้กับงานออกแบบประเภทอื่น และความเหมาะสมของวัสดุช่วยในการเคลื่อนไหว จัดแสดงท่าทางให้เป็นไปตามความต้องการของนักออกแบบ

2 การประเมินผลประเมินผลสัมฤทธิ์ต่อภาพยนตร์สต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นที่สร้างจากการพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม ศึกษาผลประเมินผลสัมฤทธิ์จากการสื่อสารเรื่องราวได้ชัดเจน เทคนิคและวัสดุกับวิธีการนำเสนอภาพยนตร์เอกภาพของงาน การใช้งาน เทคนิควิธีการควบคุมตัวละครสต็อปโมชั่นได้ตรงตามบทบาท (การออกแบบตัวละคร) เทคนิคและวัสดุที่มีผลต่อการตัดต่อภาพยนตร์ ภาพลักษณ์ของภาพยนตร์ อรรถรสความสมจริงของฉากเสียง เพลงและดนตรีประกอบ การสื่อสารด้วยภาพสอดคล้องกับเรื่อง สาระ ความบันเทิงของภาพยนตร์สต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น

3 การวิเคราะห์ข้อมูลขณะเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ผู้วิจัยตรวจสอบความแม่นตรงของข้อมูลและความเชื่อถือได้ของข้อมูลภาคสนามทุกครั้งที่เก็บข้อมูลด้วยการดูข้อมูลข้อคำถาม สื่อความหมายตรงตามที่ต้องการหรือไม่ขณะที่สัมภาษณ์ คำตอบที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลเดิม และข้อสังเกตของนักวิจัย และข้อมูลอื่นที่มีอยู่เดิมจากแหล่งอื่นในลักษณะทดสอบแบบสามเส้าตามระเบียบวิจัยเชิงคุณภาพ เพื่อให้ข้อมูลมีความหมายแม่นยำและเชื่อถือได้มากที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่สองเป็นการตรวจข้อมูลที่ได้จัดเป็นดัชนีแล้วจากการสังเกตพฤติกรรมการสนทนากับกลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลัก และบุคคลทั่วไปโดยมีการตรวจสอบสามเส้า (สุภางค์ จันทวานิช 2549, หน้า 103)

3.1 ตรวจสอบด้านปริมาณตรวจสอบข้อมูลที่สังเกตและบันทึกว่าได้ปริมาณเพียงพอในทุกประเด็นคำถาม และเพียงพอตามวัตถุประสงค์หรือไม่ หากข้อมูลไม่เพียงพอได้ทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมหลายครั้งจนสามารถสรุปข้อมูลที่ตอบวัตถุประสงค์ของภารกิจของ การวิจัยได้

3.2 ตรวจสอบข้อมูลกับเจ้าของข้อมูลและผู้เกี่ยวข้องอื่นผู้วิจัยซักถามผู้ให้ข้อมูลและตรวจสอบจากผู้เกี่ยวข้องอื่นว่าข้อมูลถูกต้องหรือไม่ด้วยการสอบถามซ้ำในประเด็น เดียวกัน แล้วให้ความเห็นกับผู้วิจัยในเรื่องการตีความ การวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อเป็นการยืนยันความเชื่อถือได้ของข้อมูลและการรายงาน

3.3 ตรวจสอบด้านทฤษฎีตรวจสอบข้อมูลขณะอยู่ในภาคสนามการตีความหมาย พฤติกรรมว่าตรงหรือแตกต่างไปจากทฤษฎีหรือจากแนวคิดผู้เชี่ยวชาญมากน้อยเพียงใด และตรวจสอบความเข้าใจของผู้วิจัยโดยศึกษาเอกสารเพิ่มเติมสอบถามความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญที่ปรึกษาเมื่อพบข้อมูลที่ขัดแย้งกันหรือข้อมูลไม่เพียงพอผู้วิจัยเก็บข้อมูลซ้ำเพื่อยืนยันความถูกต้อง

3.4 ตรวจสอบวิธีการเก็บข้อมูลตรวจสอบข้อมูลด้วยการรวบรวมข้อมูลหลายวิธี ประกอบด้วย เอกสาร การสังเกตแบบมีส่วนร่วม และไม่มีส่วนร่วมการสัมภาษณ์เจาะลึกการสัมภาษณ์ เพื่อตรวจดูความสอดคล้องของข้อมูล และความถูกต้อง

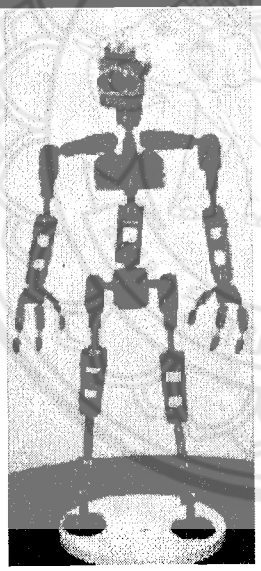
บทที่ 4

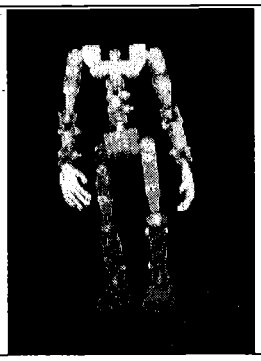
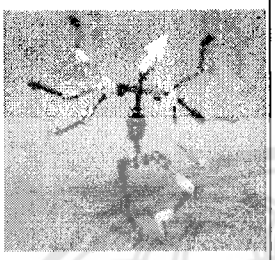
ผลของการศึกษาวิจัยการออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้าง

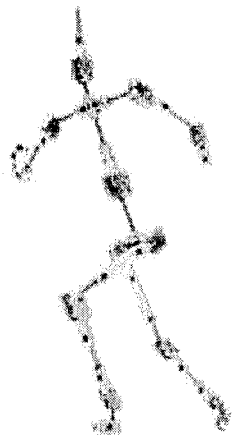
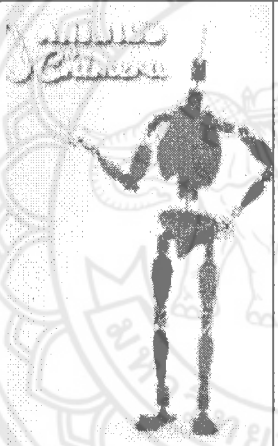
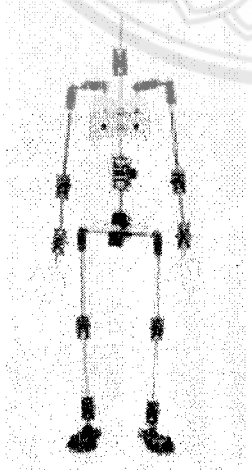
การศึกษาออกแบบและวิจัยเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม ในครั้งนี้ได้ผลของการศึกษาวิจัยในประเด็นต่างๆดังต่อไปนี้

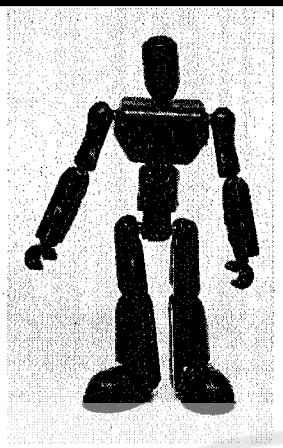
ผลงานการออกแบบและทดลองหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่นในช่วงต้นนั้น จากที่คณะผู้วิจัยทำการศึกษาค้นคว้าและวิจัย ทั้งผลงานจริงที่มีวางขาย การศึกษาจากเอกสารตำราหนังสือ โดยทำการวิเคราะห์ถึงจุดเด่นจุดดี ในการทำงานศึกษาค้นคว้าภาคเอกสารและจากตัวอย่างจริงจำนวน 14 รูปแบบ ถึงหน้าที่การทำงาน องค์ประกอบ ชิ้นส่วน และการเคลื่อนไหว ข้อดี ข้อจำกัดต่างๆของหุ่นโครงสร้างที่มี อันได้แก่การสรุปลักษณะวิเคราะห์หุ่นโครงสร้างจากตารางดังต่อไปนี้

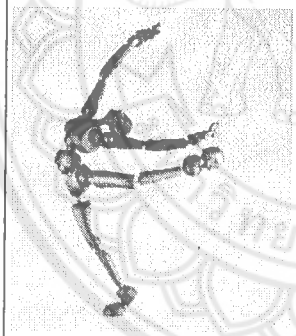
ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างจากต้นแบบหุ่น Armature จำนวน 12 แบบ ดังนี้

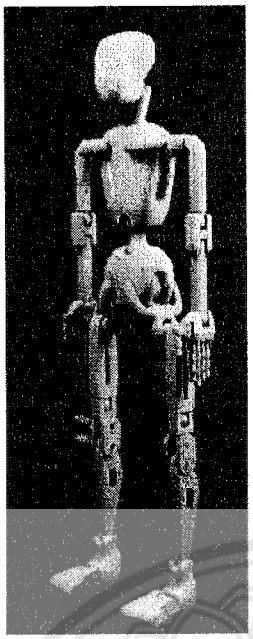
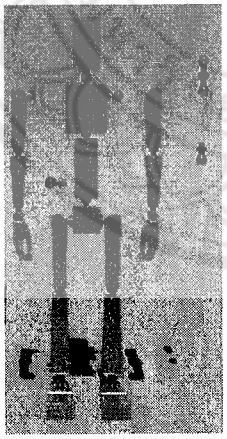
Armature กลุ่มที่ 1	ลักษณะรูปทรง	วัสดุที่ใช้	จุดเด่น	จุดด้อย	ลักษณะข้อต่อ
1 หุ่น Cyclops ของ Ray Harryhausen ปี 1957 ที่มา: มูลนิธิ Ray และ Diana Harryhausen ถ่ายรูปโดย Andy Johnson		ผลิตจาก เหล็กบัดกรี และข้อต่อส่วนต่างๆของร่างกาย ประกอบด้วยลูกเหล็ก ส่วนหัวทำจากการหล่อเรซิ่น	วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน	โครงสร้างเฉพาะเจาะจงสร้างเพื่อตัวละครตัวเดียวเท่านั้น	ข้อต่อทุกส่วนเป็นบอลเหล็กและซ็อกเก็ตเป็นแผ่นแผ่นเหล็กประกบกันถูกเชื่อมด้วยนอต
2 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ TED SYDOR เมื่อครั้งยังเป็นนักศึกษาMiddlesex County College, นิวเจอร์ซีย์ในปี 1991		ผลิตจากพลาสติก และไม้สูงประมาณ 10 นิ้ว ใช้น็อตในการยึดชิ้นส่วนเข้าหากัน มีการใช้	โครงสร้างประกอบง่ายด้วยมือ	แผ่นพลาสติกตามข้อ มีการบิดงอได้ง่าย หัวบอลเป็นพลาสติก ทำให้	ข้อต่อทุกส่วนเป็นบอลพลาสติกและซ็อกเก็ตเป็นแผ่น

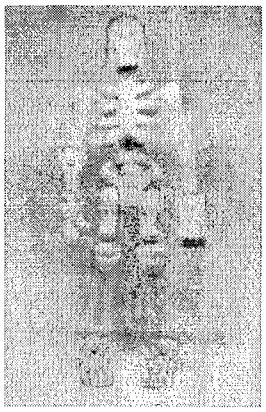
ที่มา : Ted Sydor http://trikfx.com/armatures,1991		พลาสติกชนิดหัวบอล		การหมุนข้อต่อมีแรงเสียดทานมาก	พลาสติกประกบกันถูกเชื่อมด้วยนอต
3 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tom Brierton ที่มา : Tom Brierton, Stop motion magazine, หน้า 13		ผลิตจาก โลหะหลายชนิด เช่น อลูมิเนียม, เหล็ก และวัสดุที่ใช้สร้างยานอวกาศ ซึ่งเป็น วัสดุที่มีน้ำหนักเบา และมีความทนทานยืดหยุ่นสูง มีความเบามากกว่าอลูมิเนียมราว 50% (Tomorn Sookprecha | Jul 12, 2018)	วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน	โครงสร้างเฉพาะเจาะจงประกอบยาก ต้องใช้เครื่องมือในการตัดให้ได้ขนาด และประกอบให้ตรงตามแบบ	ข้อต่อทุกส่วนเป็นบอลอลูมิเนียมและซ็อกเก็ตเป็นแผ่นแผ่นอลูมิเนียมประกบกันถูกเชื่อมด้วยหมุดนอตสีดำ

4. หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tetsu Kawamura		โครงสร้างหลักเป็นอลูมิเนียม ตัวเบ้าหรือ socket นั้นทำจากแผ่นบรอนซ์ฟอสเฟอร์ชุบสี (phosphor bronze plate) หัวบอลทำจากลูกเหล็กธรรมดาชนิดกันสนิม	วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน	โครงสร้างเฉพาะเจาะจงประกอบยาก ต้องใช้เครื่องมือในการตัดให้ได้ขนาด และประกอบให้ตรงตามแบบ	ข้อต่อทุกส่วนเป็นบอลอลูมิเนียมและซ็อกเก็ตเป็นแผ่นบรอนซ์ฟอสเฟอร์ชุบสีทองประกบกันถูกเชื่อมด้วยนอต
5 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Animation Toolkit ที่มา : Animation Toolkit : motion magazine. หน้า 50		สแตนเลสขัดเงา มีข้อต่อ 24 จุด, หลายจุดออกแบบตามหลักมานุษยวิทยา โครงสร้างกล้ามเนื้อพิมพ์ด้วยระบบ 3 มิติ	โครงสร้างภายในเป็นสแตนเลสขัดเงา มีความแข็งแรงทนทาน	โครงสร้างเฉพาะเจาะจงประกอบยาก ต้องใช้เครื่องมือในการตัดให้ได้ขนาด และต้องใช้ระยะเวลานานจึงจะประกอบเสร็จ	ข้อต่อทุกส่วนเป็นบอลสแตนเลสและซ็อกเก็ต เป็นแผ่นสแตนเลสประกบกันถูกเชื่อมด้วยน็อต
2.4.6 หุ่นโครงสร้าง Armatures Creature Kit ของ Aardman ที่มา : Aardman Armatures Creature Kit ;www.animationtoolkit.co.uk/aardman-armatures-creature-kit		ผลิตจาก สแตนเลสมากกว่า 100 ชิ้น ข้อต่อเหล็กกล้าไร้สนิม 20 อัน หัวบอลสแตนเลสชุบแข็งและสกรูหัวซ็อกเก็ต มีแม่เหล็กฝังอยู่ที่ปลายเท้า	วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน น้ำหนักเบา	โครงสร้างเฉพาะเจาะจงประกอบยาก ต้องใช้เครื่องมือในการตัดให้ได้ขนาด และต้องใช้ระยะเวลานานจึงจะประกอบเสร็จ	ข้อต่อทุกส่วนเป็นบอลเหล็กและซ็อกเก็ตเป็นแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมประกบกันถูกเชื่อมด้วยน็อต

Armature กลุ่มที่ 2	ลักษณะรูปทรง	วัสดุที่ใช้	จุดเด่น	จุดด้อย	ลักษณะข้อต่อ
1 โครงหุ่น Stikfas **ที่มา :** http://stikshop.alt-world.com/stikfas.htm ภาพถ่ายหุ่น Armature Stikfas ; นิภัสรา บุรีเพีย (2562)		สร้างจากพลาสติกชนิดแข็ง ที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมของ Hasbro มีพาเลสพลาสติกที่แกะออกได้ง่าย สามารถถอดเปลี่ยนได้	STIKFAS มีข้อต่อทั้งหมดเป็นบอล และซ็อกเก็ต ที่แกะออกง่ายและติดแน่นไม่หลุดง่าย	-การขยับท่าทางทำได้ไม่ดีนัก เนื่องจากซ็อกเก็ตรองรับการงอได้ด้านเดียว -ข้อต่องอและพับได้ไม่เต็มที่ เช่น การพับของหัวเข่า ทำได้เพียง 30-45 องศา -ไม่มีข้อต่อไหปลาร้า และข้อต่อนิ้วมือ	ข้อต่อทั้งหมดเป็นบอลและซ็อกเก็ต ขนาดของบอล 2.5 mm และ ซ็อกเก็ตด้านนอกกว้าง 4 mm ตัวสลักกว้าง 2.3 mm และตัวเบ้า 2.5 mm
2. โครงหุ่น modibot **ที่มา :**ภาพถ่ายหุ่น Armature ModiBot Mo พิมพ์ด้วยระบบ SLA และใช้เรซิ่น ; นิภัสรา บุรีเพีย (2562)		สร้างจากการพิมพ์ สามมิติ ซึ่งสามารถใช้เส้นพลาสติกหลากหลายรูปแบบ อาทิ PLA, ABS, รวมไปถึงการพิมพ์ด้วย Resin	สามารถเลือกใช้วัสดุในการพิมพ์ 3 มิติ ได้หลากหลาย	-การขยับท่าทางทำได้ไม่ดีนัก เนื่องจากซ็อกเก็ตรองรับการงอได้ด้านเดียว -ข้อต่องอและพับได้ไม่เต็มที่ เช่น การพับของหัวเข่า ทำได้เพียง 60-90 องศา	ข้อต่อทั้งหมดเป็นบอลและซ็อกเก็ตที่ใหญ่และหนาเท่ากันทุกส่วน เพื่อให้สามารถต่อได้หลากหลาย ขนาดของบอล 6 mm และ ซ็อกเก็ตมีลักษณะเป็นเบ้าครอบบอล 8.5 mm

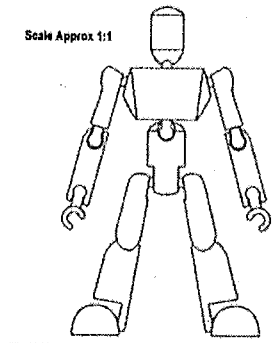
				-ไม่มีข้อต่อไหปลาร้าและข้อต่อนิ้วมือ	
3. โครงหุ่น Stickybones ที่มา : ภาพจากวีดีโอ https://vimeo.com/ 152141643 โครงหุ่น stickybones		สร้างจากโปรแกรม 3 มิติ และสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เรซิ่น จากนั้นนำมาเจียร์ให้ผิวเรียบ ทาสีและเรเซอร์ให้สีติดแน่นและทนทานขึ้น	สามารถกำหนดท่าทางได้หลากหลาย งอเข่าและพับแขนได้มากถึง 10-15 องศา	-โครงสร้างของมวลมีขนาดเท่าสัดส่วนมนุษย์ ซึ่งถูกกำหนดให้มีรูปลักษณ์ตายตัว ไม่เปลี่ยนได้ -มือและเท้าใหญ่เกินสรีระจริงของมนุษย์	ข้อต่อทั้งหมดเป็นบอลและซ็อกเก็ตที่ใหญ่และหนาเฉพาะจุด โดยเฉพาะส่วนที่รับน้ำหนัก เช่น เท้า อก และ เอว ข้อต่อนิ้วมือมีขนาดเล็กและมีครบทั้ง 5 นิ้ว

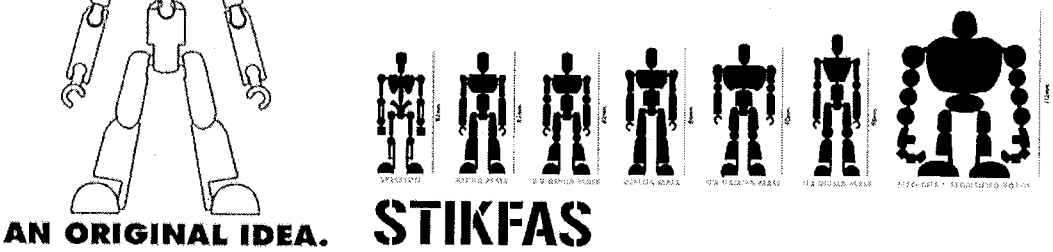
4. โครงหุ่น Armature Nine (A9-RIG) ที่มา :ภาพ 3 มิติ Armature Nine (A9); 09 ก.ย.2562 https://armature nine.com/		พื้นผิว ได้สผม ผสาน หลากหลายวัสดุ เช่น ไม้ สังเคราะห์ (Wood composite) และผลิตจากการพิมพ์สามมิติด้วย พลาสติก ABS และจุดข้อต่อส่วนต่างๆ พิมพ์สามมิติแบบ เรซิ่น	สัดส่วนข้อต่อส่วนใหญ่เป็น boll joint และ Socket ยกเว้นส่วนหัวเข่า มีการใช้น็อตเสริมความแข็งแรง -สรีระคล้ายมนุษย์ -ข้อต่อบริเวรนิ้วมือมีครบทุกจุด	ข้อต่อมีมากเกินความจำเป็น ข้อต่อวริเวรไหปลาร้า และโคนขา มีขนาดใหญ่เกินไป เคลื่อนไหวไม่สะดวกนัก	-ข้อต่อส่วนหัว แขน และนิ้วมือ ข้อเท้า เป็นบอลและ ซ็อกเก็ต -ข้อต่อไหปลาร้าและกระดูกเชิงกราน เป็นเดือยหยักคล้ายฟันเฟือง หมุนได้ 2 ทิศทาง และอีกด้านเป็นบอลซ็อกเก็ต -ข้อต่อหัวเข้ามี 2 แบบ คือด้านบนเป็นบอลและซ็อกเก็ต ส่วนเข่าเป็นแผ่นพลาสติกถูกเชื่อมด้วยน็อต
5. โครงหุ่น Gemobot ที่มา :ภาพ 3 มิติ โครงหุ่น Gemobot; 09 ก.ย.2562 -facebook fanpage ชื่อ nattotoys		พื้นผิวพิมพ์ด้วยพลาสติก ABS ข้อต่อส่วนต่างๆ เป็น หัวบอล ทำด้วยเหล็ก และมือ มีความยืดหยุ่นผลิตจาก Flexible Plastic ซึ่งเป็นวัสดุหนึ่งของการพิมพ์สามมิติ	การเคลื่อนไหวของหัวบอลเหล็ก และ Socket พลาสติกสามารถเคลื่อนไหวได้ดี มีแรงเฉื่อยกระทำต่อพลาสติก ABS	-การพับงอของหัวเข่าและศอก ทำได้น้อยมาก สามารถพับได้ต่ำสุดเพียง 45 องศา -ลำตัวโค้งงอไม่ได้ เนื่องจากเป็นสี่เหลี่ยม ซึ่งมีมุม ทำให้งอตัวไม่ได้	ข้อต่อทั้งหมดเป็นบอลเหล็ก และซ็อกเก็ตเป็นพลาสติกที่มีรอยผ่ากลางอละยืดหยุ่นได้

6. โครงหุ่น Skelly The Skeleton ที่มา :ภาพ 3 มิติ โครงหุ่น Skelly The Skeleton .09 ก.ย.2562 www.thingiverse .com/thing :3064150		สร้างจากการพิมพ์ สามมิติ ซึ่งสามารถใช้เส้นพลาสติกหลากหลายรูปแบบ อาทิ PLA, ABS, รวมไปถึงการพิมพ์ด้วย Resin	สามารถเลือกใช้วัสดุในการพิมพ์ 3 มิติ ได้หลากหลาย	-ไม่มีกระดูกไหปลาร้าและส่วนคอติดกับลำตัวไม่สามารถงอได้ -กระดูเชิงกรานมีพื้นที่แคบเกินไปทำให้ Socket หมุนส่วนขาไม่ได้ -ไม่มีข้อต่อนิ้วมือ	ข้อต่อทั้งหมดเป็นบอลและซ็อกเก็ตที่ใหญ่และหนามีลักษณะหนีบสองด้าน ข้อต่อเท่ากันทุกส่วนเพื่อให้สามารถต่อได้หลากหลาย

ตาราง สรุปการวิเคราะห์วัสดุและคุณสมบัติการทำงานและ ชิ้นส่วนของหุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion จำนวน 12 รูปแบบ

โครงหุ่น Stikfas

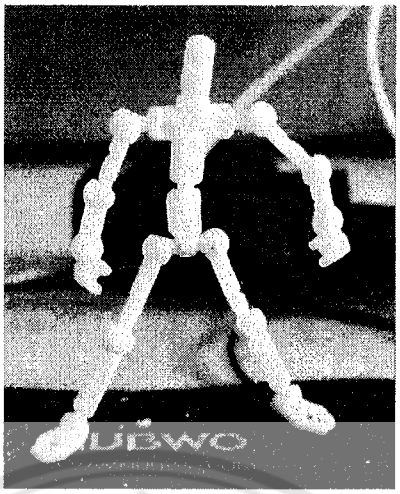




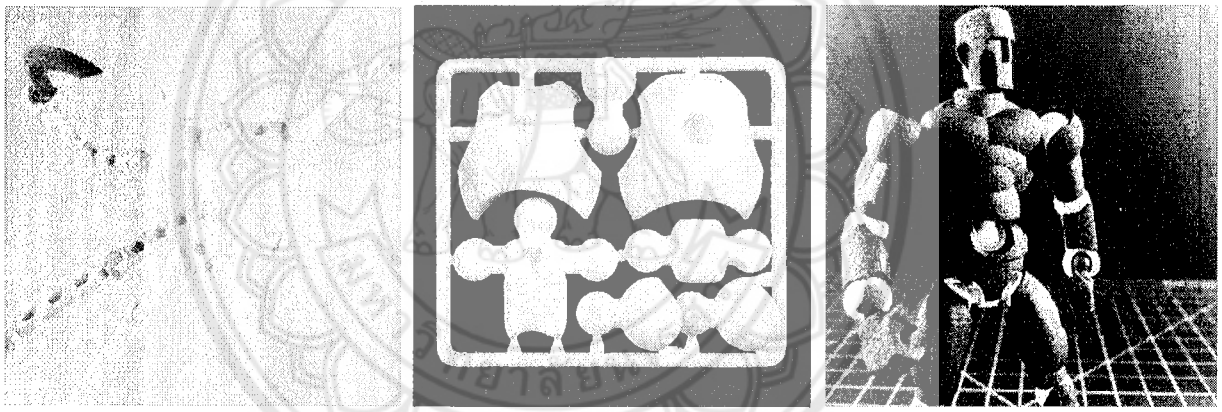
http://stikshop.alt-world.com/stikfas.htm

ภาพถ่ายหุ่นArmature Stikfas ; นิภัสรา บุรีเพีย (2562)

โครงหุ่น modibot

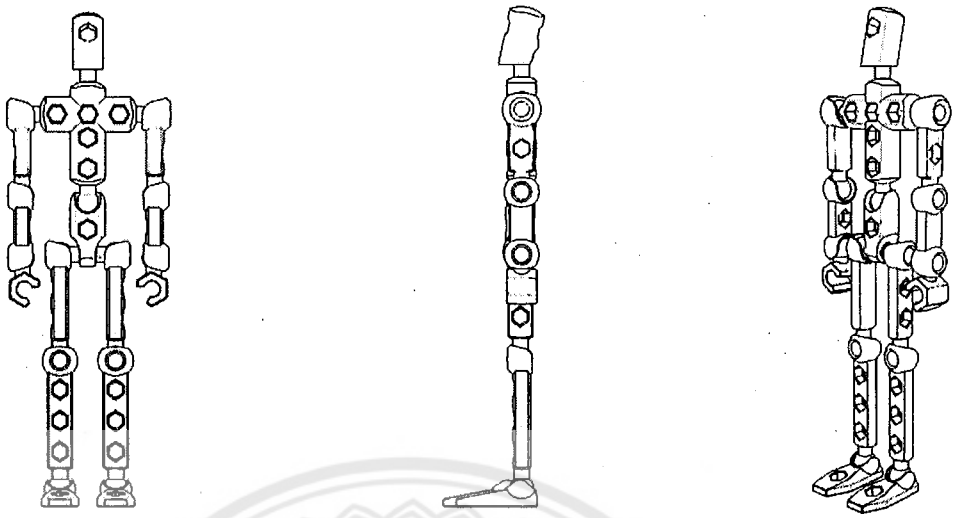


ภาพถ่ายหุ่นArmature ModiBot Mo ; นิภัสรา บุรีเพีย (2562)



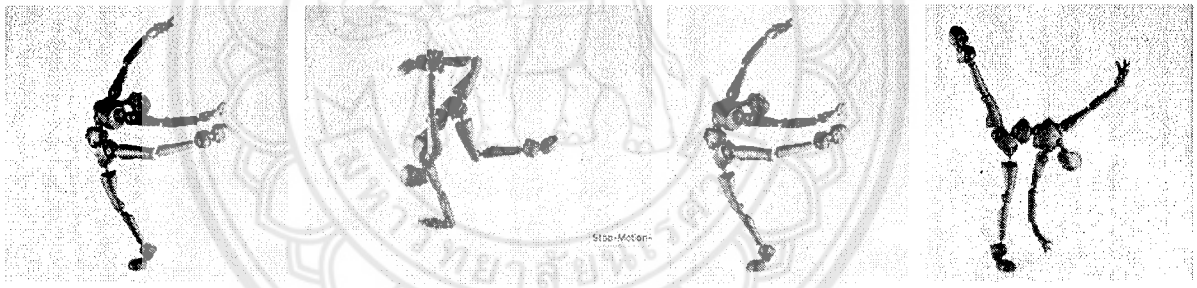
ModiBot Stopmotion Starter Set

และ Black Exo-Skin w/Mo figure frame https://modibot.com/



ภาพโครงร่าง modibot ; 09 ก.ย.2562

โครงหุ่น Stickybones

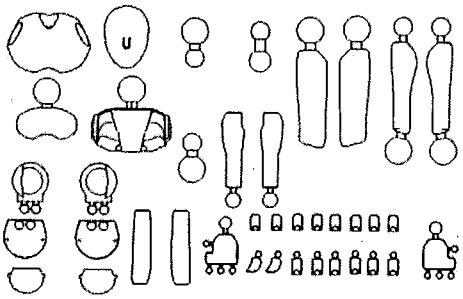


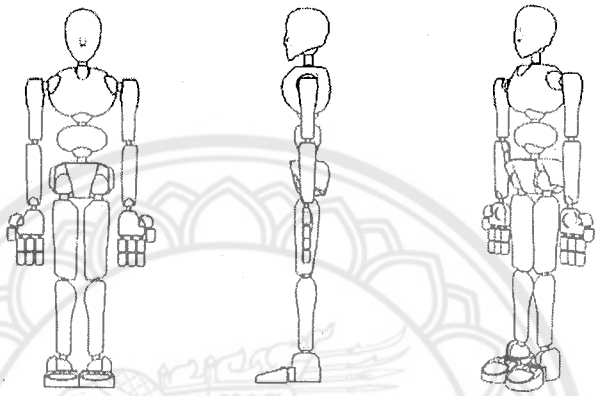
ภาพจากวีดีโอ https://vimeo.com/152141643 โครงหุ่น stickybones

https://www.stickybones.com/

ภาพจากวีดีโอ https://vimeo.com/152141643 โครงหุ่น stickybones

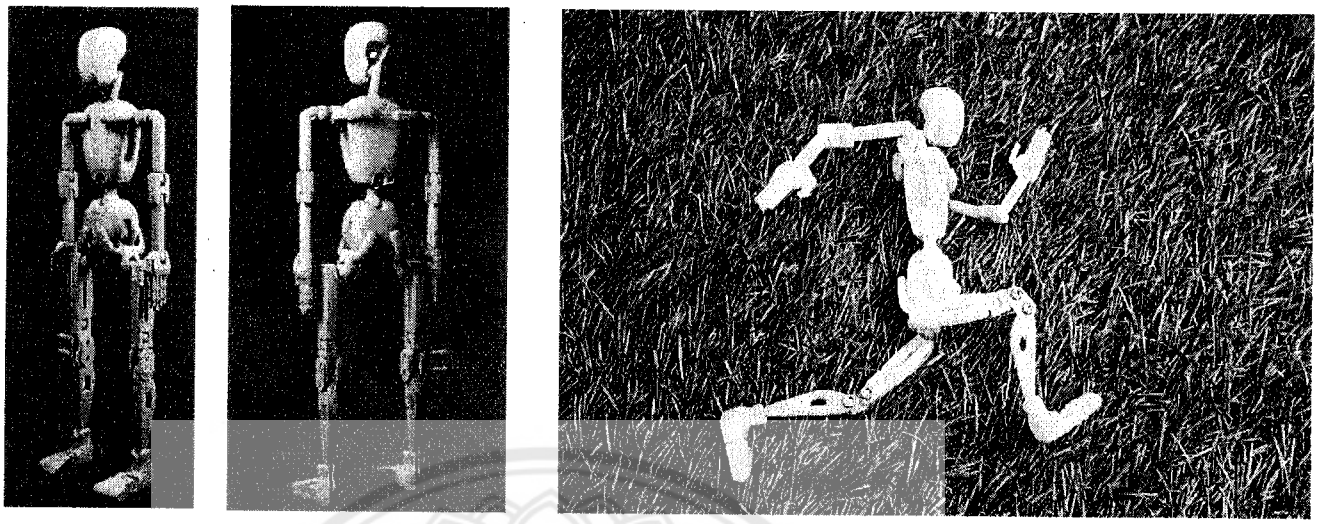
https://www.stickybones.com/



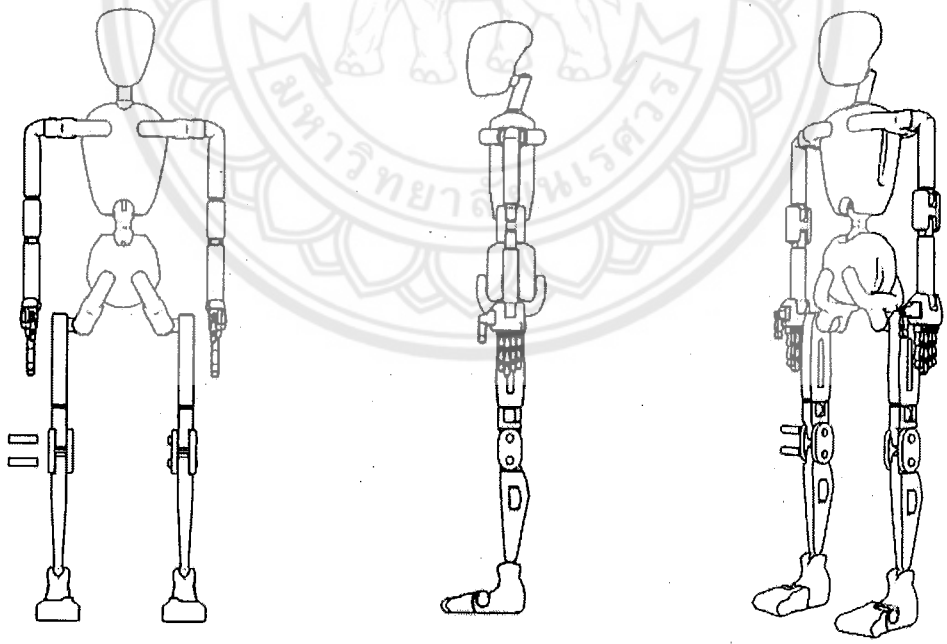


ภาพโครงร่าง stickybones ;09 ก.ย.2562

โครงหุ่น Armature Nine (A9-RIG)

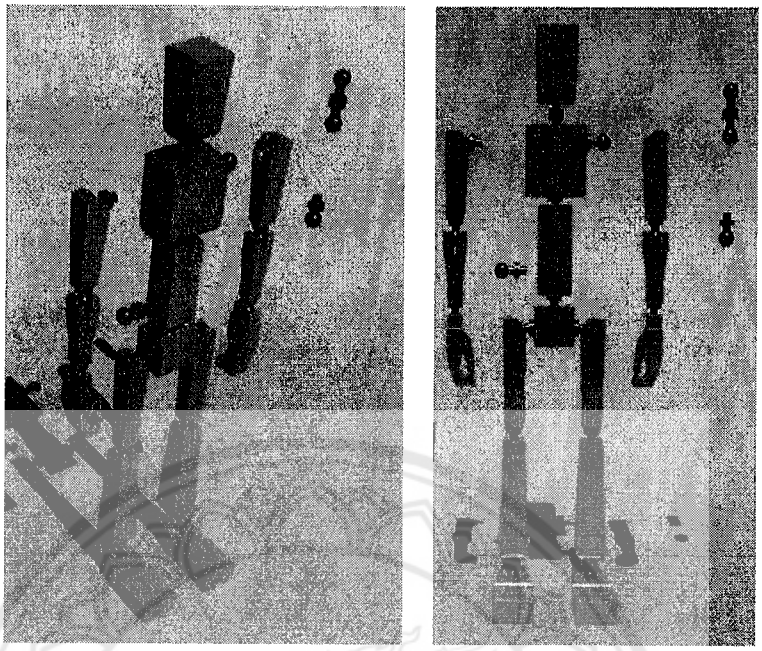


ภาพ 3 มิติ Armature Nine (A9); 09 ก.ย.2562

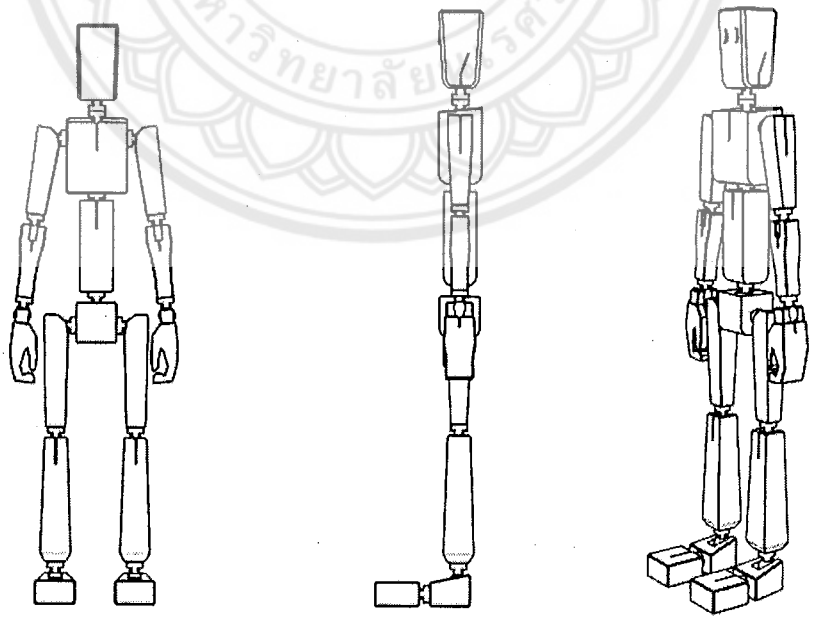


ภาพโครงร่าง Armature Nine (A9); 09 ก.ย.2562

โครงหุ่น Gemobot

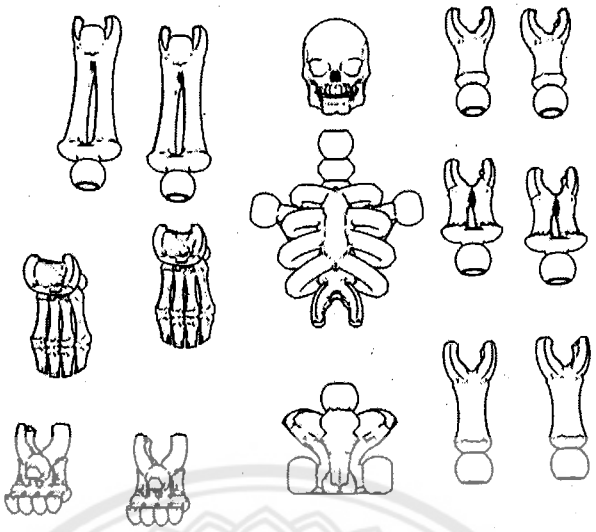


ภาพ 3 มิติ โครงหุ่น Gemobot; 09 ก.ย.2562

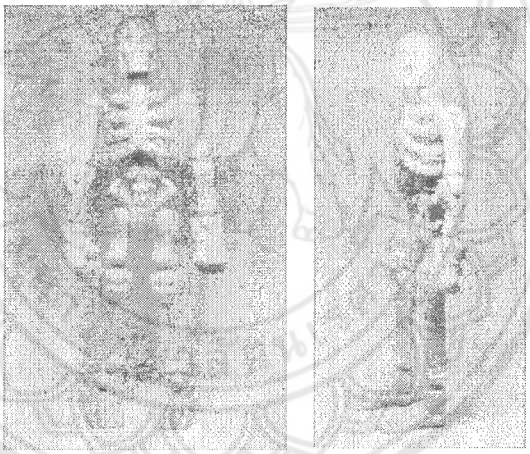


ภาพโครงร่าง Gemobot09 ก.ย.2562

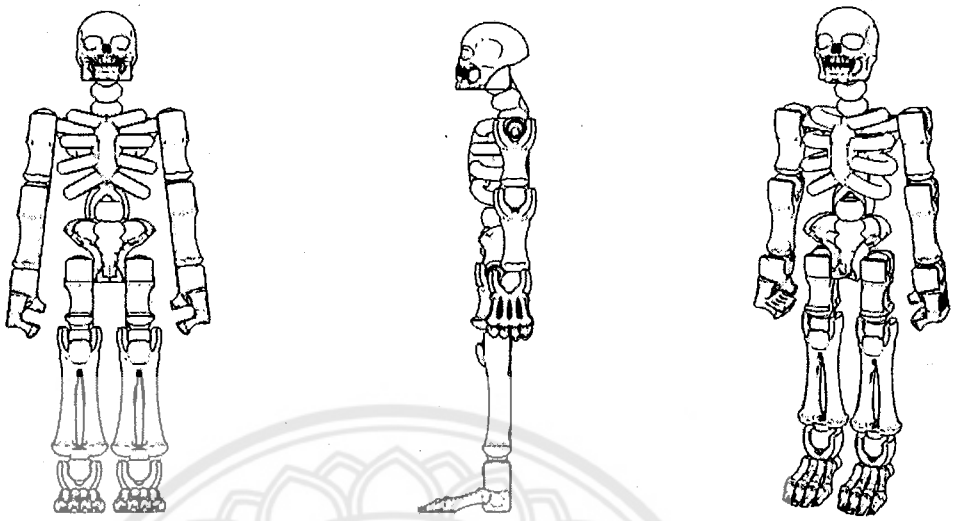
โครงหุ่น Skelly The Skeleton



ภาพชิ้นส่วนหุ่น Armature Skelly Skeletion (2562)



ภาพถ่ายหุ่นArmature Skelly Skeletion; นิภัสรา บุรีเพีย (2562)



ภาพโครงร่าง Gemobot09 ก.ย.2562

จากตาราง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างรูปทรง รูปแบบ หน้าที่การใช้งานของหุ่นโครงสร้างแบบต่างๆ 12 รูปแบบดังที่กล่าวมา โดยได้แนวทางในการนำมาพัฒนาเป็นผลงานออกแบบหุ่นโครงสร้างขึ้นใหม่

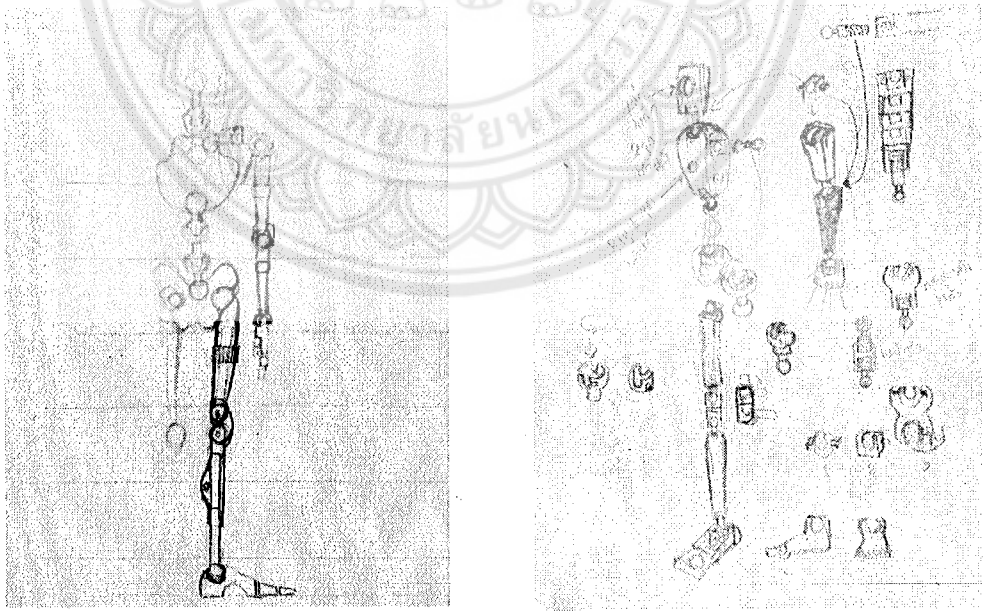
กระบวนการออกแบบหุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion ผลงานในรูปแบบที่ 1 มีกระบวนการทั้งหมดดังนี้

กระบวนการออกแบบโดยมีที่มาของการออกแบบต้นแบบแรงบันดาลใจการทำงานมาจากโครงสร้างกายวิภาคของมนุษย์ (Human Anatomy) และนำเอาผลงานที่ทำการสรุปวิเคราห์โรงสร้างจากที่ทำการศึกษาวิจัยหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นทั้งหมด 12 รูปแบบ เพื่อนำมาเป็นข้อเปรียบเทียบในจุดเด่นจุดด้อย แสดงให้เห็นความแตกต่าง และสร้างผลงานไม่ให้เกิดความซ้ำซ้อน ทำการพัฒนาปรับปรุงจากการศึกษาแนวทางทั้งหมดนี้ขึ้นมา

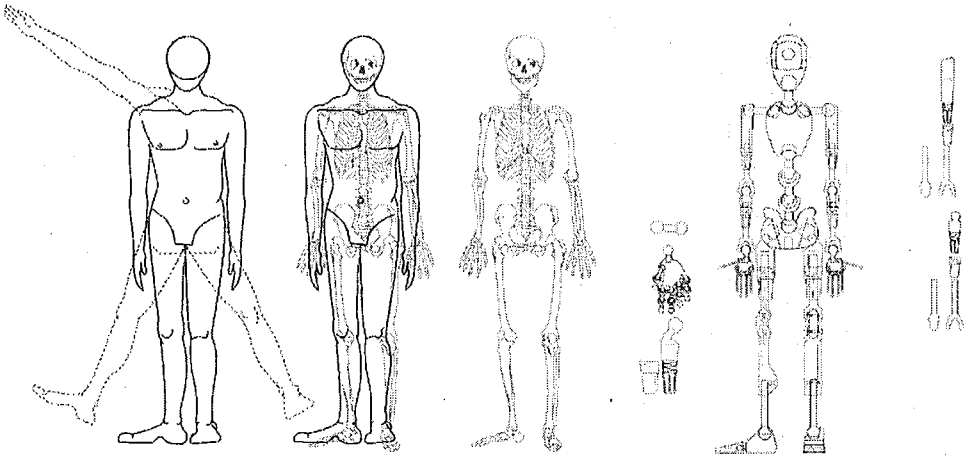
1. ขั้นตอน Sketch Design ทำการร่างแบบต่างๆ จากการศึกษา
2. ขั้นตอน 3D Modeling การขึ้นโมเดล 3 มิติ
3. ขั้นตอน 3D Printing การพิมพ์โมเดล 3 มิติ
4. ขั้นตอน ผลิต Ball joint และ Socket เป็นส่วนประกอบเสริม
5. ขั้นตอนการประกอบโครงสร้าง Armature

1. **ขั้นตอน Sketch Design**

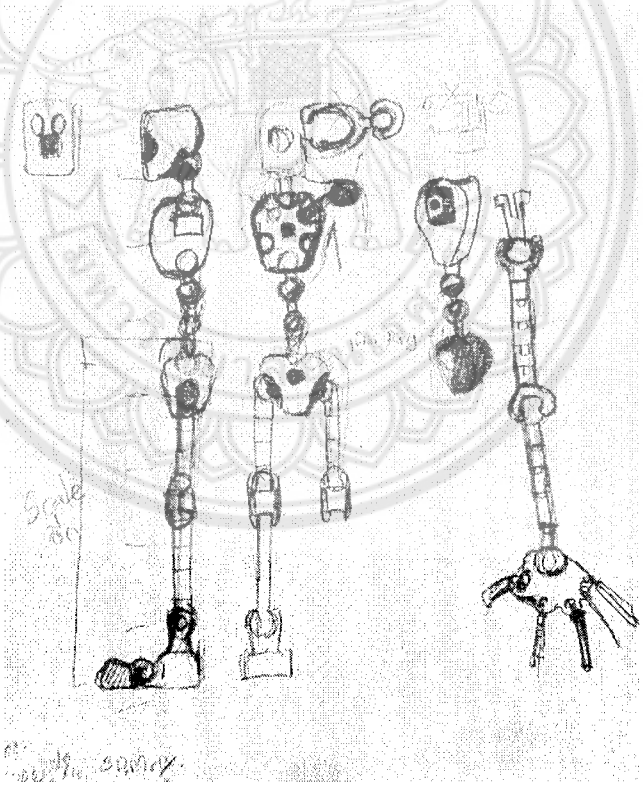
Sketch design แบบที่ 1



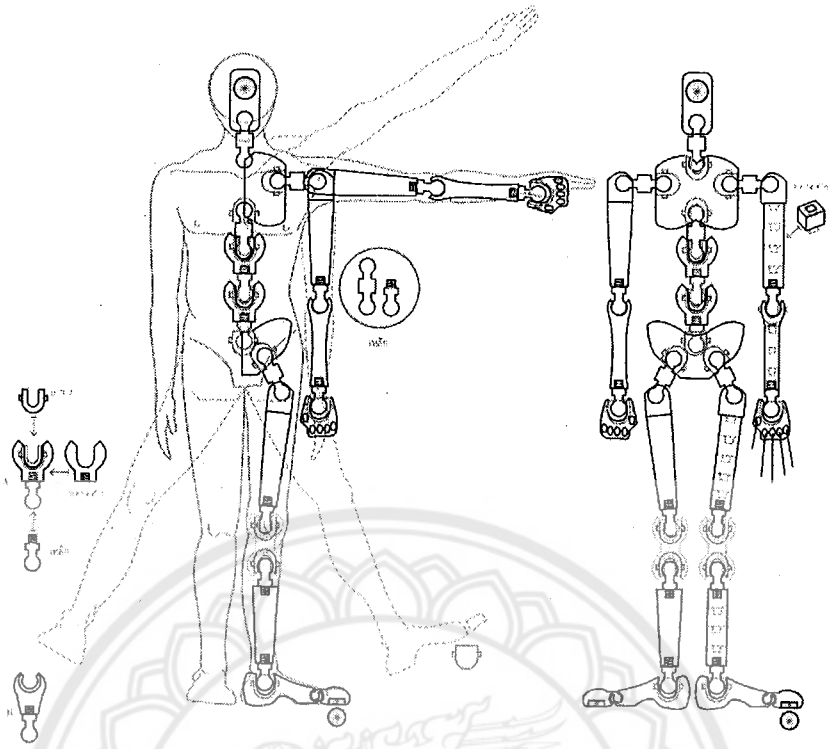
ภาพร่างดินสอและการปรับปรุงแบบที่ 1



ภาพเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างมนุษย์กับหุ่น Armature



ภาพร่างดินสอและการปรับปรุงแบบที่ 2



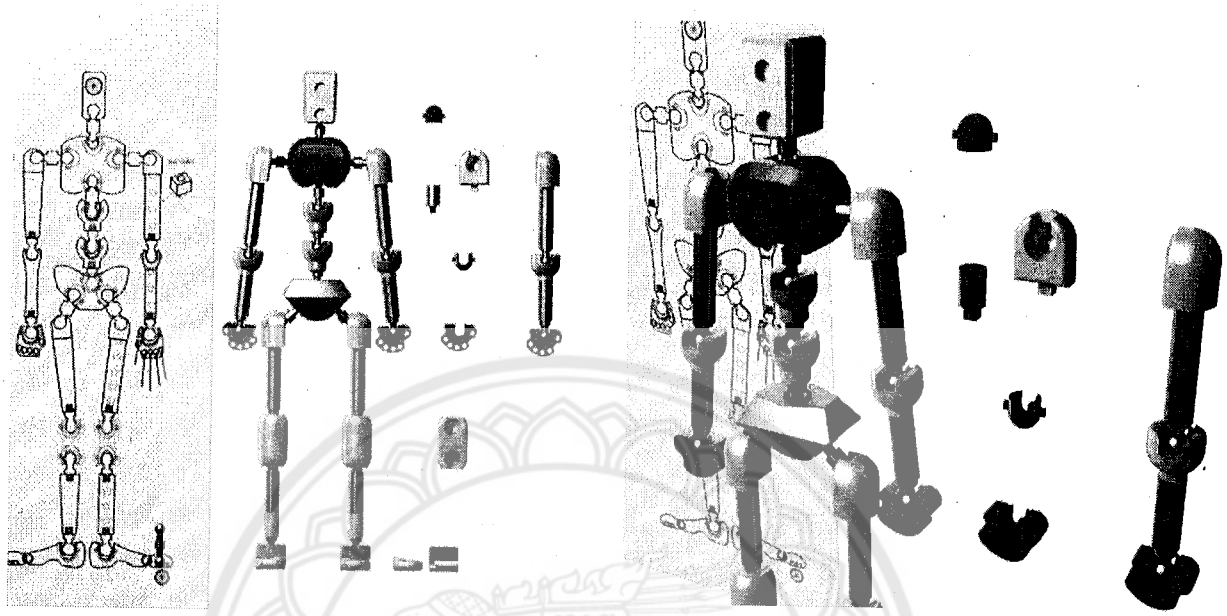
ภาพ Sketch design แบบที่ 3

ในขั้นตอนการทำงานร่างภาพผลงาน Sketch Design นั้น ทางคณะผู้วิจัยนำรูปแบบของโครงสร้างกระดูก และกายวิภาคมนุษย์เข้ามาเป็นแนวทางการร่างแบบ และพัฒนาให้มีความใกล้เคียงทั้งในเรื่องรูปทรง สัดส่วน หน้าที่การใช้งานและวิธีการขยับเคลื่อนไหวต่างๆ ของชิ้นส่วนบริเวณข้อต่อ ชิ้นส่วนของกระดูกหลักๆ ในโครงสร้างร่างกายมนุษย์และสัตว์สองเท้าอื่นๆ ทำให้ผลงานการออกแบบมีลักษณะใกล้เคียงกับหุ่นโครงกระดูก และหุ่นโครงสร้างที่ทำการศึกษาขึ้นมา แต่ได้เพิ่มแนวความคิดแนวทางในเรื่องของการที่อยากให้ หุ่นโครงสร้างที่ทำการออกแบบขึ้นมาใหม่นี้ในเรื่อง สามารถที่จะดัดแปลงให้สัดส่วนมีความยืดหยุน สูงต่ำ มีขนาดตามที่ต้องการได้ ช่วงของสัดส่วนในคาร์แร็คเตอร์สามารถที่จะเพิ่มลดเองได้ เช่น ความยาวของ แขน ขา คอ หรือความยาวของลำตัว ในการออกแบบคาร์แร็คเตอร์ตัวละครสำหรับสต็อบโมชั่นนั้น เราสามารถที่จะเพิ่มจำนวนส่วนต่างๆของร่างกายได้ เช่น เพิ่มแขนให้มากกว่าสองแขน เพิ่มขา สามารถใส่ปีกให้ตัวละคร เพิ่มส่วนของหัว และหางได้ เพื่อเป็นการเพิ่มหน้าที่การใช้งาน ให้กับหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นทั้งหมดนี้ ให้เกิดความยืดหยุ่นคล่องตัวในการออกแบบและสร้างสรรค์ผลงาน คาร์แร็คเตอร์ดีไซน์ขึ้นมาใหม่ๆด้วย

2. ขั้นตอน 3D Modeling การขึ้นโมเดล 3 มิติ

ได้นำ Sketh Design แบบที่ 3 มาขึ้นรูปด้วยโปรแกรม 3 มิติ ดังนี้

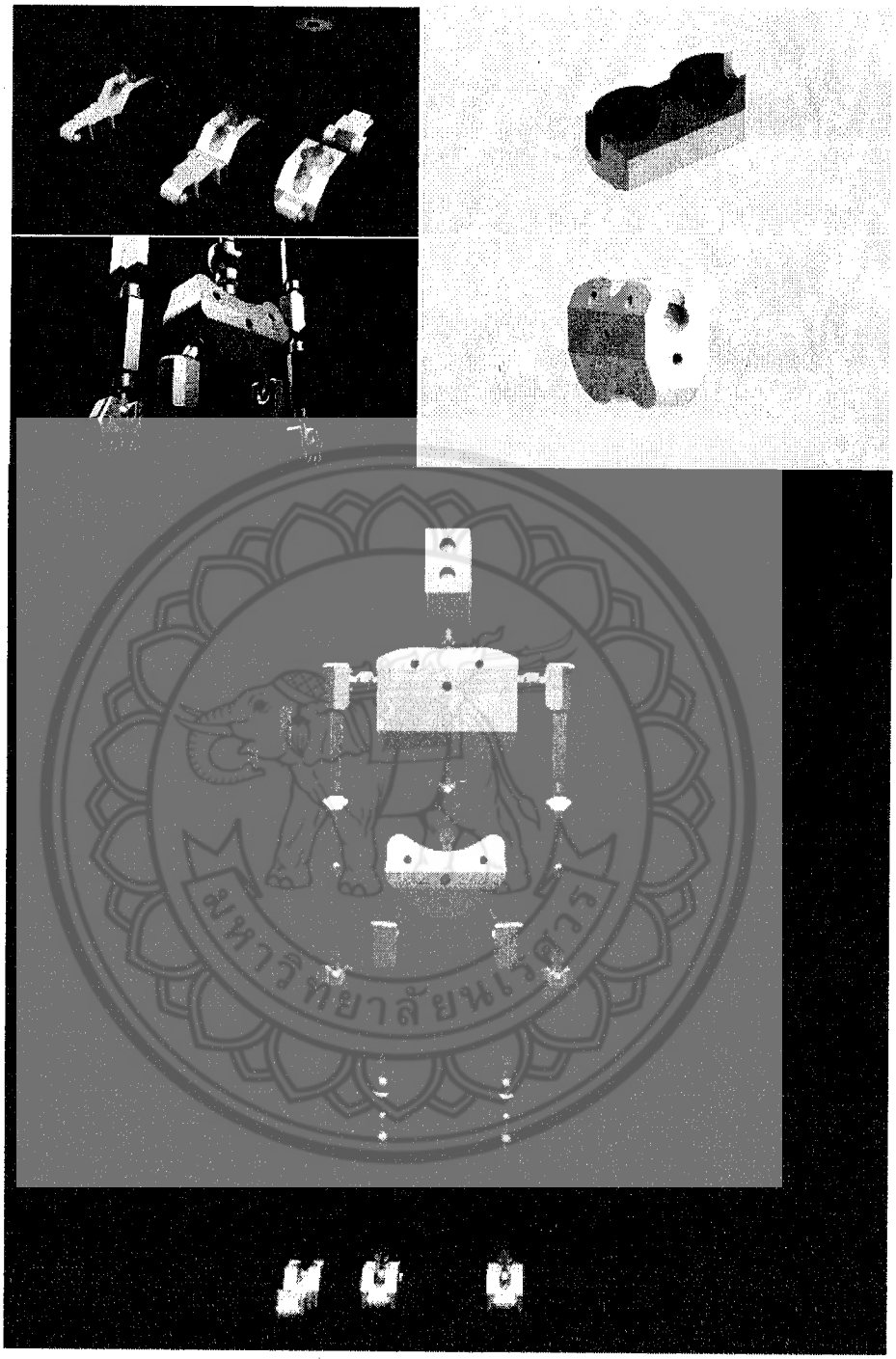
การปั้นโมเดลแบบที่ 1



ภาพสามมิติแบบที่ 1

ภาพชิ้นส่วน Armature สามมิติ แบบที่ 1

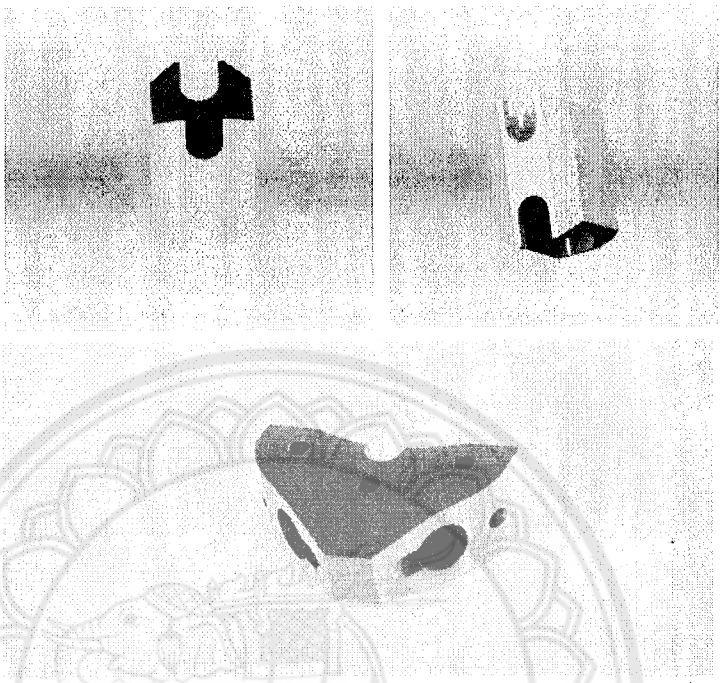
การปั้นโมเดลแบบที่ 2



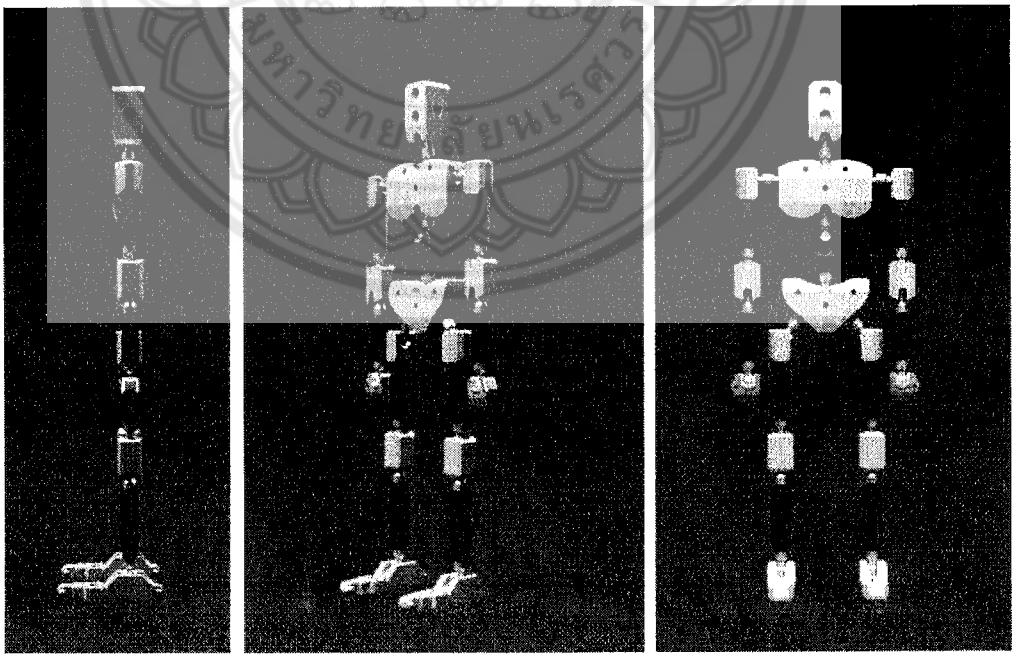
ภาพสามมิติแบบที่ 2

การปั้นโมเดลแบบที่ 3

ปรับปรุงและแก้ไขบริเวร ศอก หัวเข่า และ Hip (อุ้งเชิงกราน) จากแบบที่ 2 เพื่อให้การต่อชิ้นส่วนดูสมดุลมากขึ้น เนื่องจากแบบที่ 2 มีขนาดใหญ่เกินไป



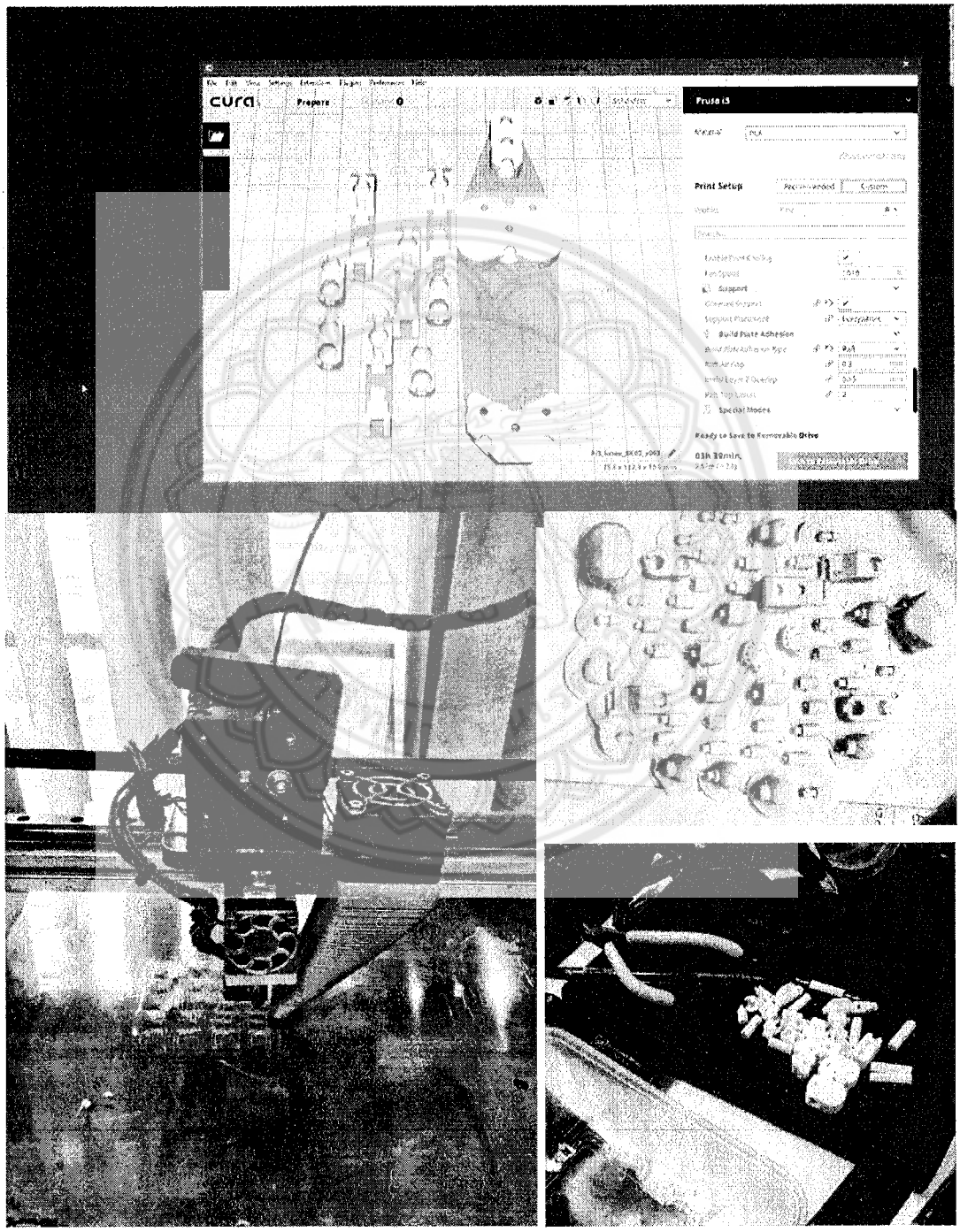
ภาพชิ้นส่วน Armature สามมิติ แบบที่ 3



ภาพสามมิติแบบที่ 3

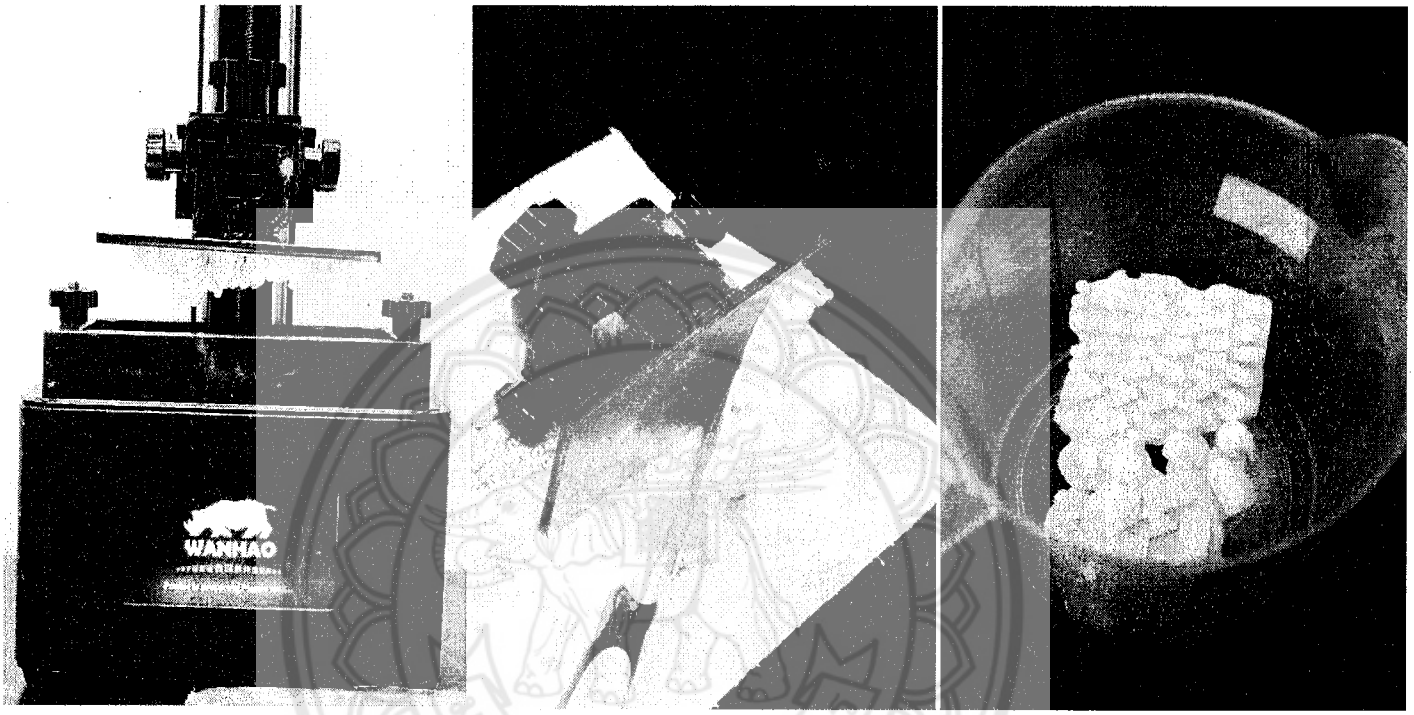
3. ขั้นตอน 3D Printing การพิมพ์โมเดล 3 มิติ

การพิมพ์ด้วยเครื่อง FDM 3D Printer คือ การพิมพ์ 3 มิติ ด้วยการฉีดเส้นพลาสติกออกมาทีละชั้นๆ ด้วยความร้อนที่ 200 – 220 องศาเซลเซียส เพื่อให้เป็นรูปทรงสามมิติขึ้น ข้อดีคือ พลาสติกมีความยืดหยุ่น โค้งงอได้ ใช้เวลาไม่นานในการพิมพ์ และมีความแม่นยำเรื่องขนาด ข้อเสียคือ ผิวไม่เรียบ มองเห็นลักษณะของเส้นพลาสติกแต่ละชั้นชัดเจน ไม่ทนความร้อน

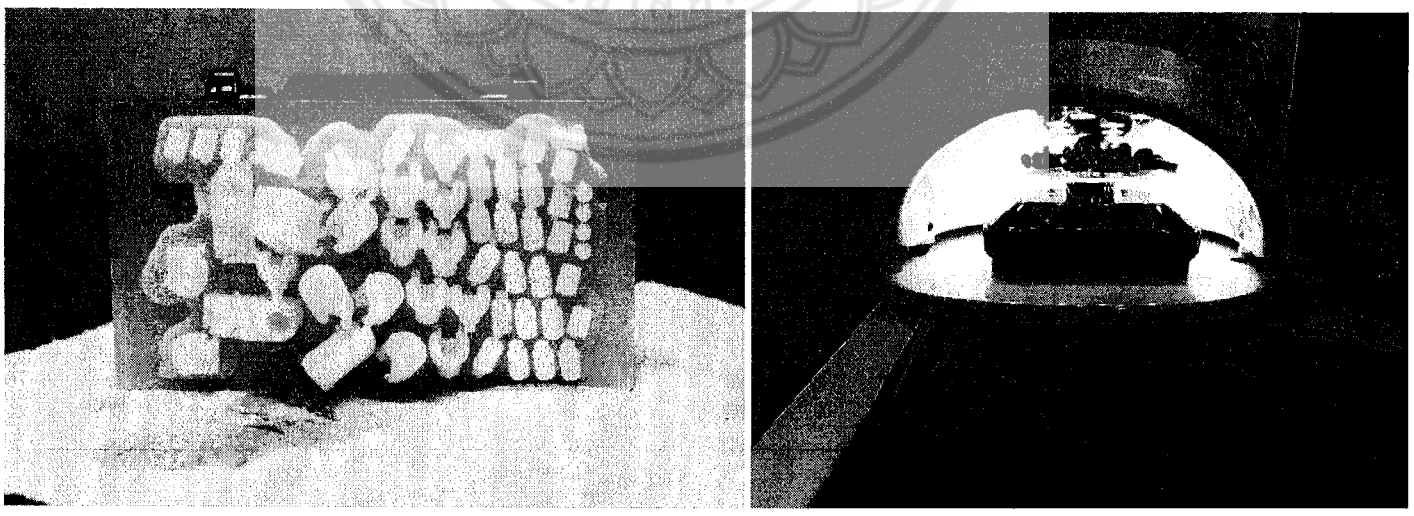


ภาพการพิมพ์สามมิติ ด้วยเครื่อง FDM แบบที่ 1 และ 2

การพิมพ์ด้วย DLP 3D Printer คือการฉายแสง UV ไปที่น้ำยาเรซิ่น เพื่อให้เรซิ่นแข็งตัว โดยจะฉายแสงทีละชั้นๆ จนขึ้นมาเป็นรูปทรง ข้อดีคือ มีความเรียบและละเอียดมากกว่าเครื่องพิม์ FDM ข้อเสียคือ เปราะง่าย ไม่มีความยืดหยุ่น และ มีขนาดที่เล็กกว่าแบบจริงประมาณ 0.5 mm การพิมพ์วัตถุที่มีรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm ซึ่งมีขนาดเล็กทำได้ยาก ทำให้รูอุดตัน



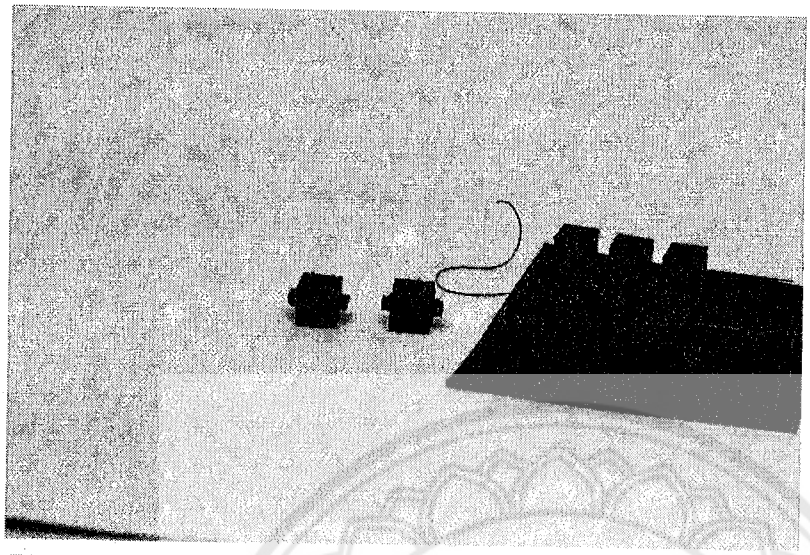
ภาพการพิมพ์สามมิติ ด้วยเครื่อง DLP แบบที่ 1



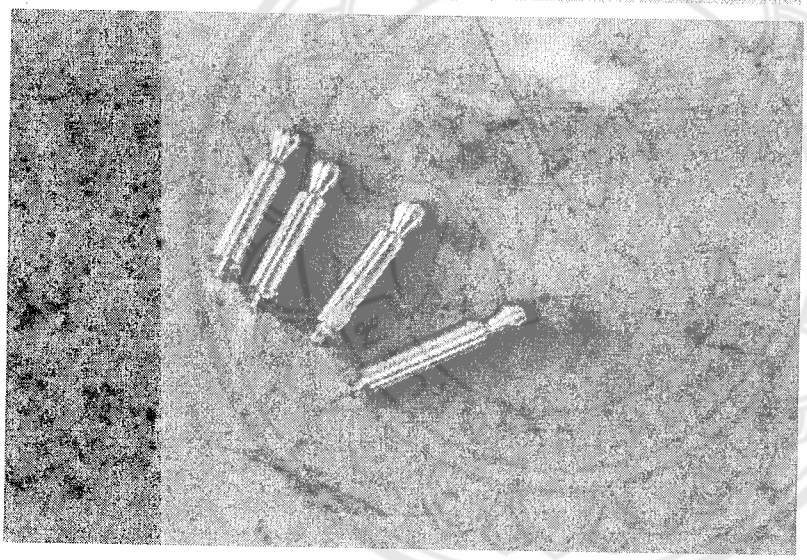
ภาพการพิมพ์สามมิติ ด้วยเครื่อง DLP แบบที่ 1

4. ขั้นตอน ผลิต Ball joint และ Socket เป็นส่วนประกอบเสริม

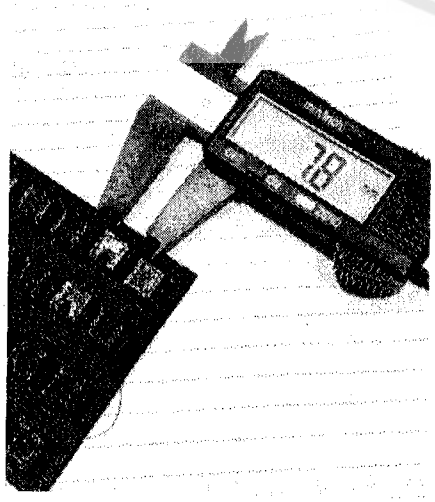
1 Ball joint และ Socket แบบที่ 1

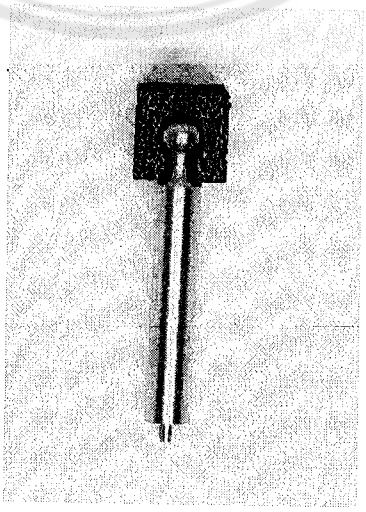


Socket มีลักษณะสี่เหลี่ยม มีเบ้ากลมตรงกึ่งกลางเพื่อรองรับหัวบอลอะลูมิเนียม และมีสลักรูปสี่เหลี่ยมเพื่อยึดกับโครงหุ่น Armature



Socket มีลักษณะสี่เหลี่ยม มีเบ้ากลมตรงกึ่งกลางเพื่อรองรับหัวบอลอะลูมิเนียม และมีสลักรูปสี่เหลี่ยมเพื่อยึดกับโครงหุ่น Armature



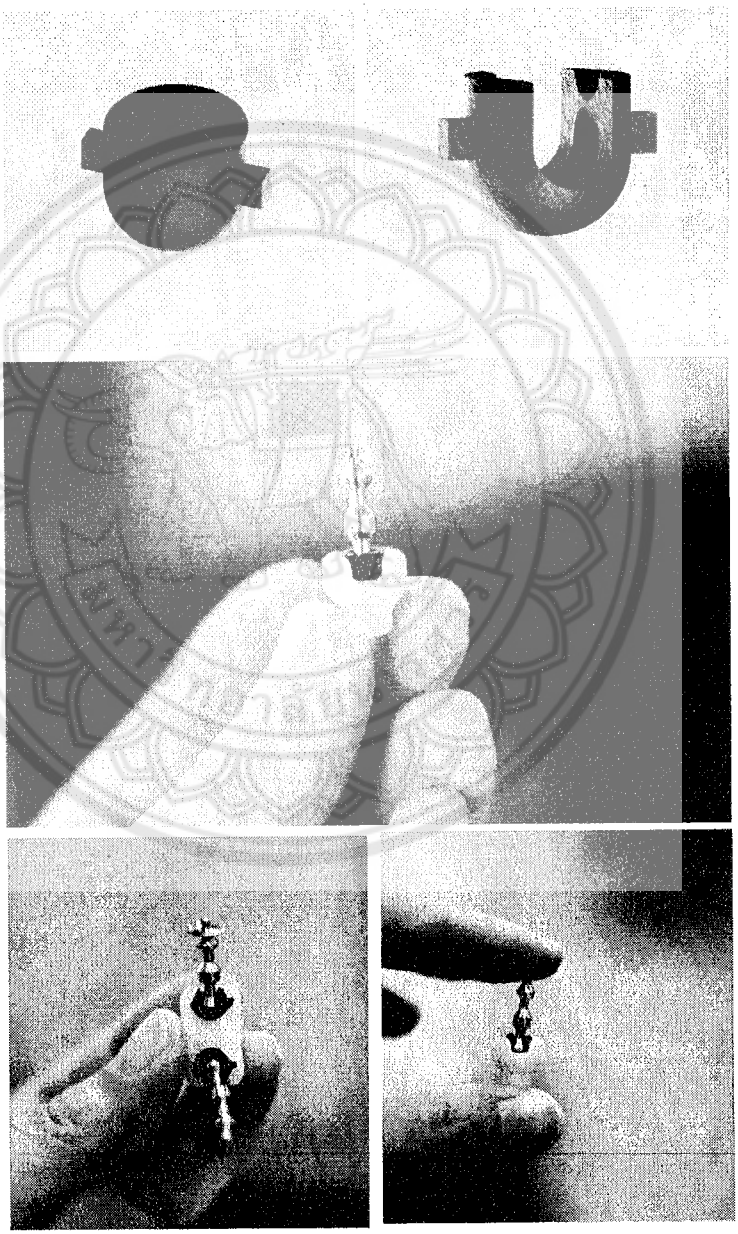


ความหนาของเบ้า Socket ประมาณ 7.8 mm ทำให้ไม่สามารถใช้ร่วมกับหุ่น Armature ได้

ภาพส่วนประกอบเสริม ball joint ที่ทำจากอะลูมิเนียม และ socket จากการพิมพ์สามมิติ เครื่อง FDM ด้วยวัสดุ TPU

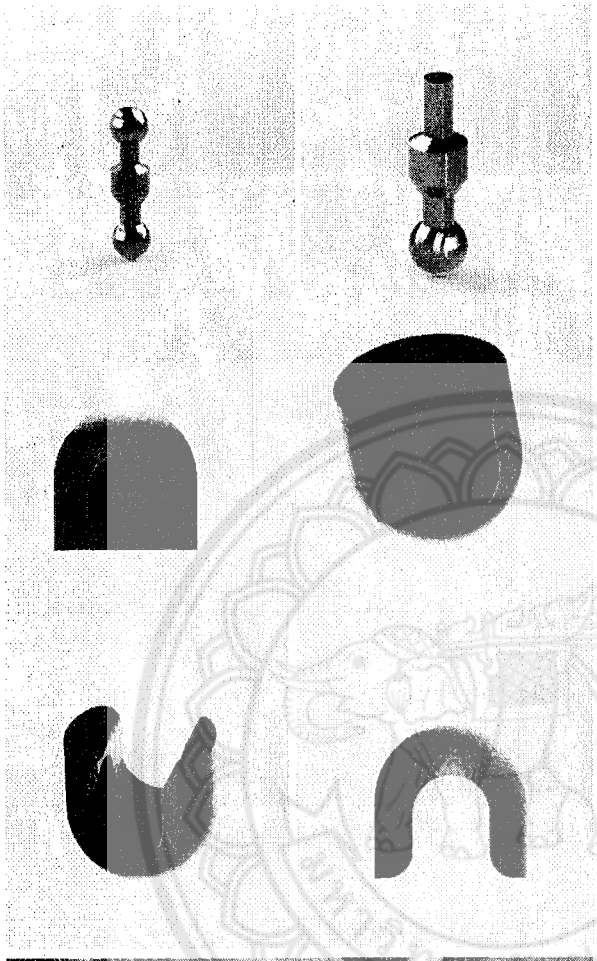
2 Ball joint และ Socket แบบที่ 2

เมื่อทดสอบพิมพ์ Socket แบบที่ 1 ในลักษณะที่เป็นสี่เหลี่ยม ปัญหาที่พบคือความหนาของ Socket ที่มีมากเกินไป ไม่สามารถสวมใส่ตัวโครงข้อต่อของ Armature ได้ จึงทำการแก้ไข ให้มี 2 ลักษณะ คือ แบบปิดทึบรอบด้าน และแบบเว้าเป็นตัวยู



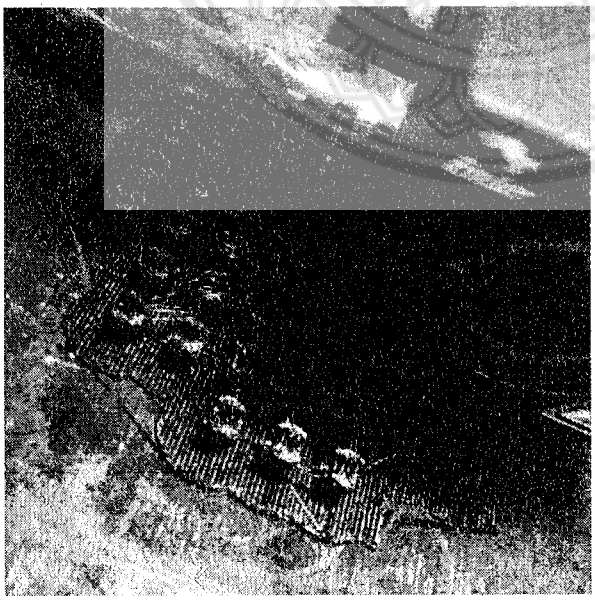
ภาพส่วนประกอบของ Armature ส่วนข้อศอก และกระดูกสันหลัง โดยนำ Socket มาใส่ ผลก็คือสลักสี่เหลี่ยมของ socket ไม่พอดีกับ Armature

3 Ball joint และ Socket แบบที่ 3



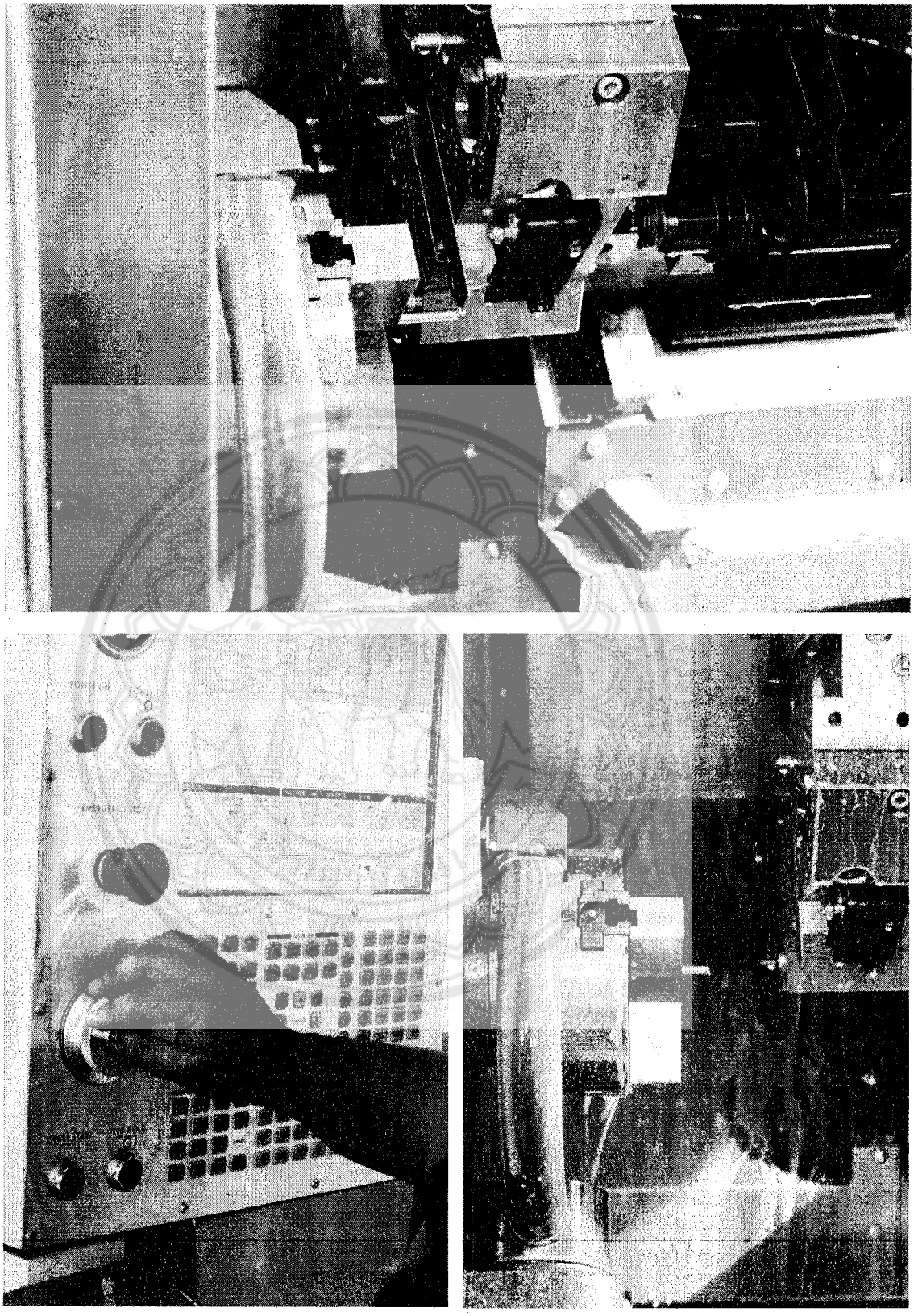
ภาพจำลองสามมิติ Ball joint ยาว 12 มม. หัวบอลขนาด 4 มม. ทำจากอะลูมิเนียม และเครื่องตัด CNC

ภาพจำลองสามมิติ socket แบบที่ 3 ปรับปรุงจากแบบที่ 2 โดยการตัดสลักสีเหลี่ยมออก เพื่อง่ายต่อการสวมใส่และเชื่อมติดกับโครง Armature โดยใช้กาวร้อน

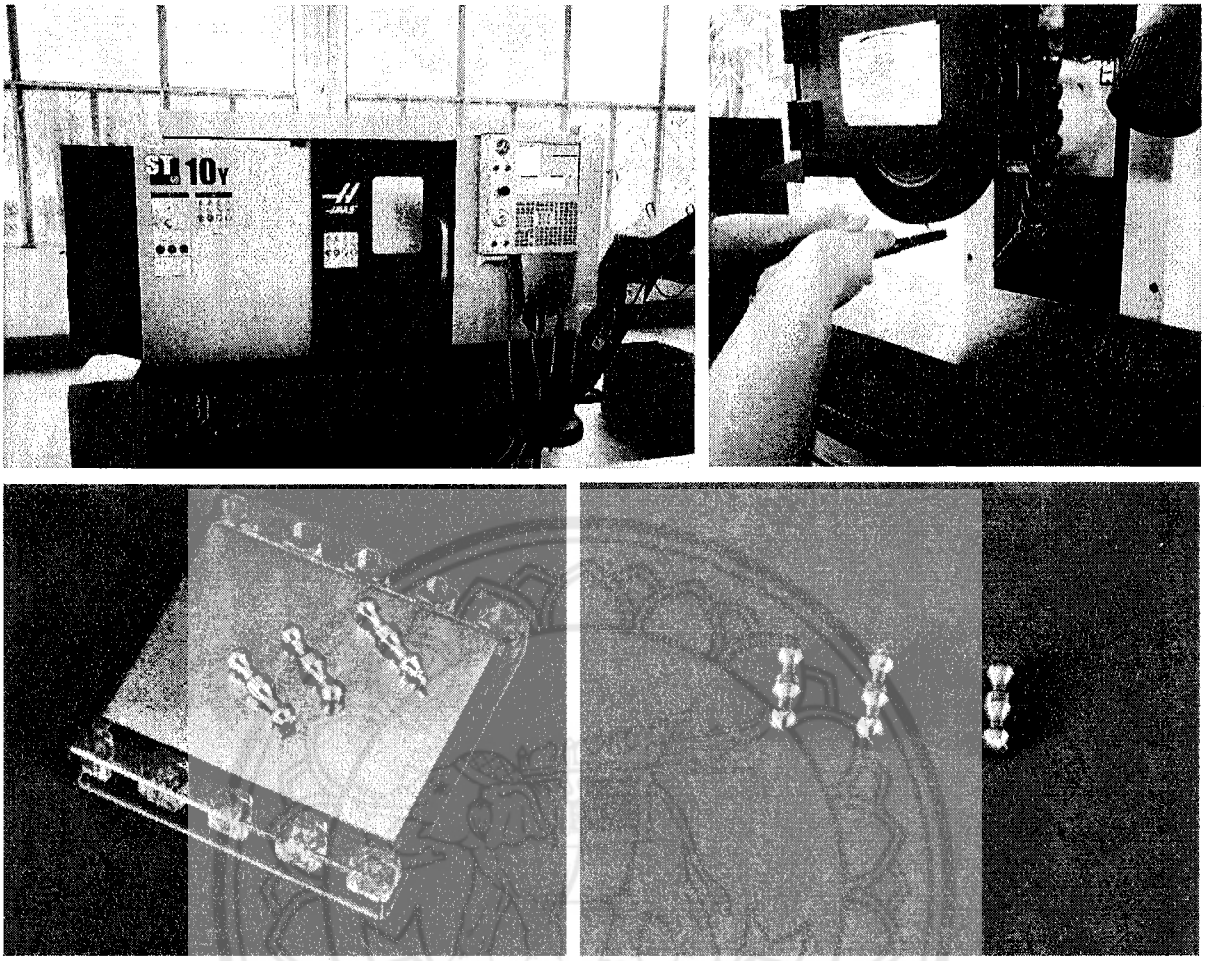


การพิมพ์สามมิติ socket แบบที่ 3 ด้วยเครื่อง FDM

ภาพการพิมพ์ 3 มิติ การพิมพ์ Socket ด้วยเส้นพลาสติก TPU ซึ่งมีความยืดหยุ่นคล้ายยาง



ภาพการผลิต ball joint ด้วยการใช้เครื่อง CNC



ภาพการผลิต ball joint สองหัว ด้วยการใช้เครื่อง CNC

ภาพ ball joint หัวเดียว ที่ผ่านการเจียร์แล้ว

5. ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

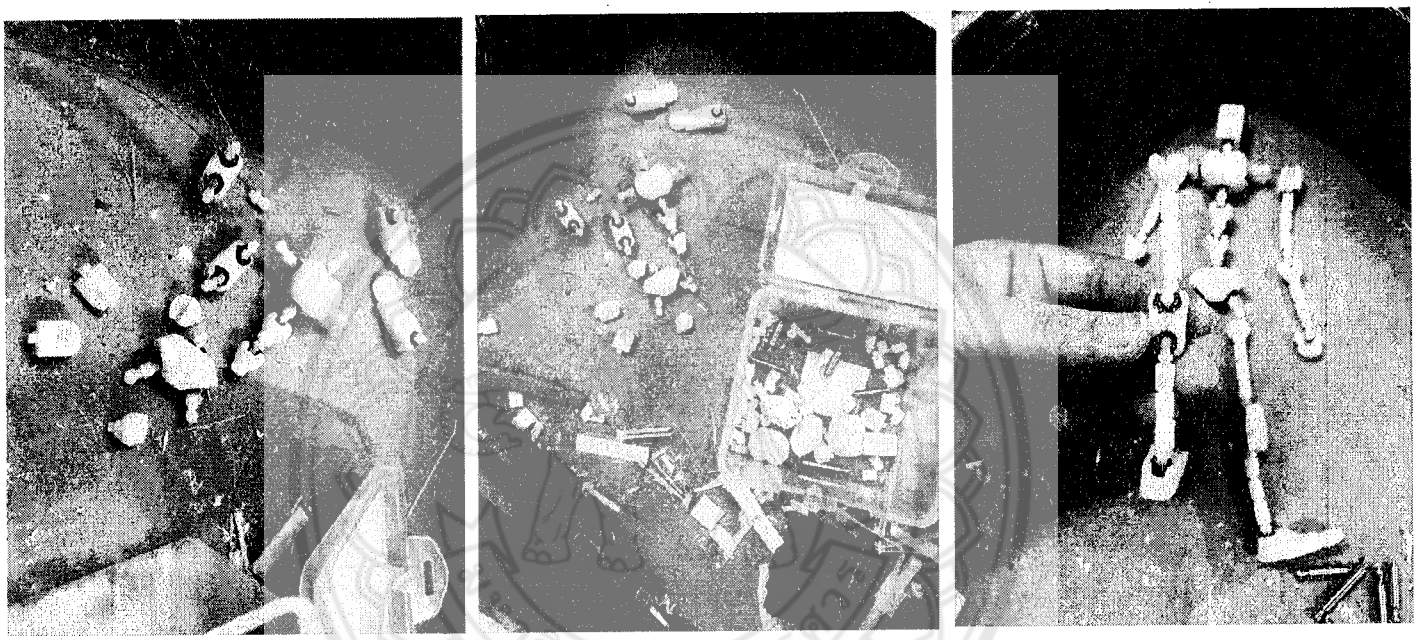
5.1 ประกอบหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 1 ด้วยวัสดุเรซิ่น เมื่อทำการปริ้นท์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสามมิติของหุ่นโครงสร้างฯแล้ว ทำการแยกตัดชิ้นส่วนออกมาทำการประกอบขึ้นรูป

5.2 ประกอบหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 1 ด้วยวัสดุพลาสติก PLA

5.3 ประกอบหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 2 ด้วยวัสดุพลาสติก PLA

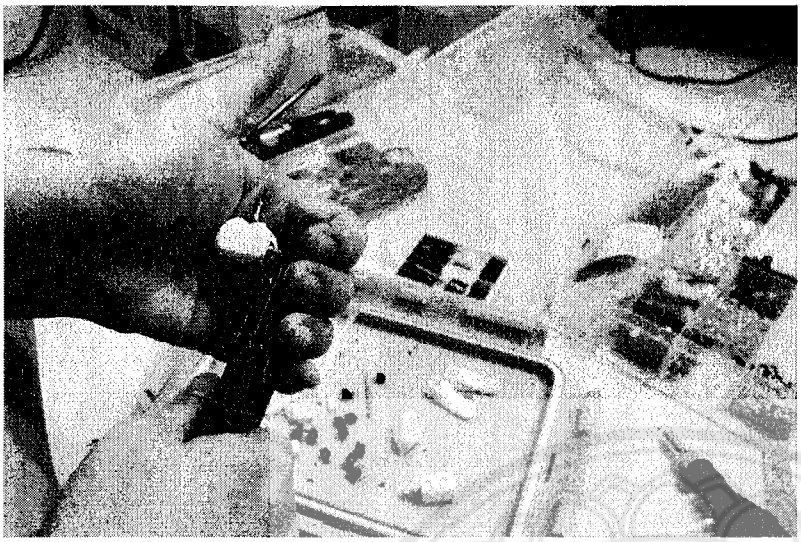
5.4 ประกอบหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 3 ด้วยวัสดุเรซิ่น

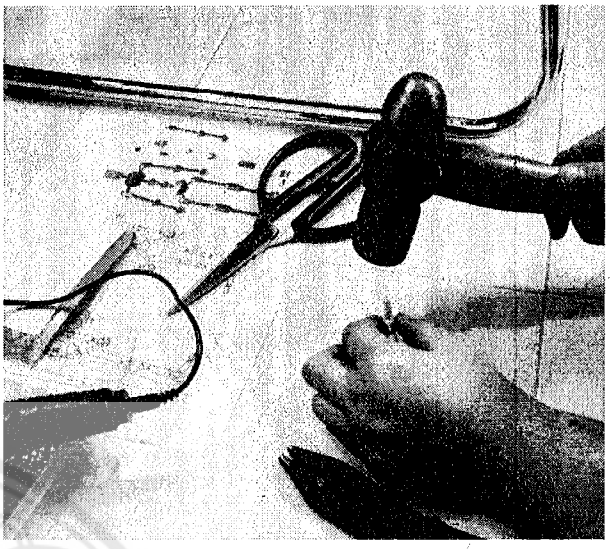
5.5 ประกอบหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 3 ด้วยวัสดุพลาสติก PLA



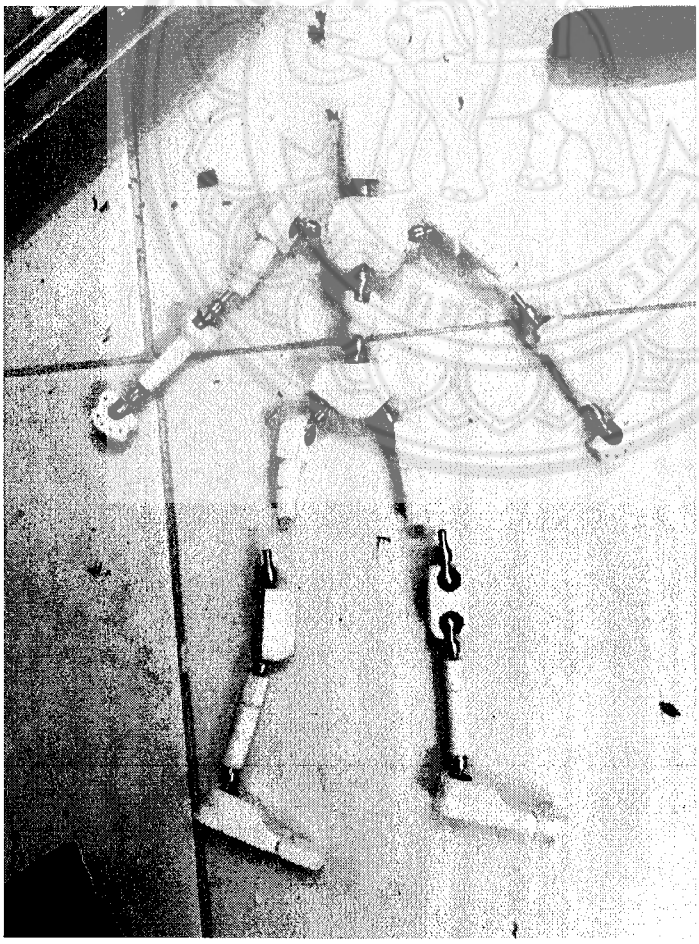
การประกอบชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างรูปแบบที่ 1 ด้วยวัสดุพลาสติก PLA

ภาพการประกอบหุ่นโครงสร้างแบบที่ 1 ด้วยวัสดุเรซิ่น





ภาพการประกอบชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างรูปแบบที่ 1 ด้วยวัสดุพลาสติก PLA

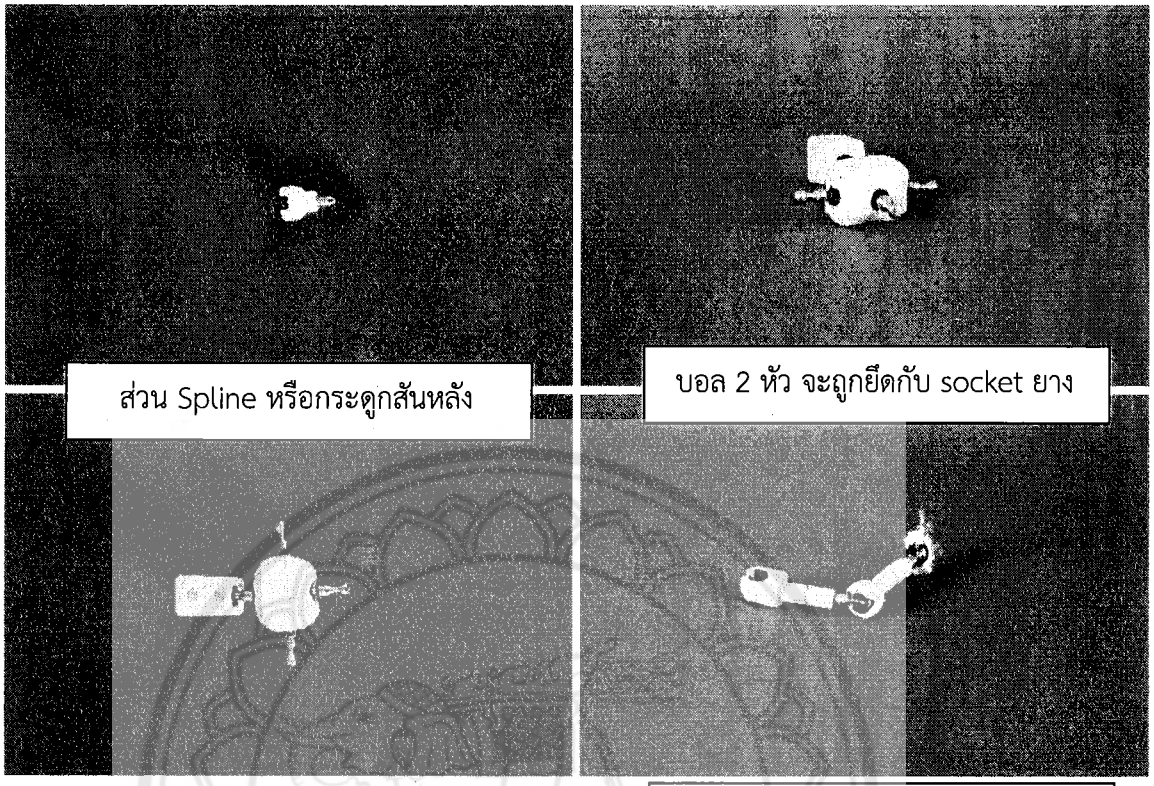


หุ่นโครงสร้างแบบที่ 1 ใช้วัสดุ 3 ชนิด ได้แก่

-ลำตัวผลิตจากพลาสติก PLA

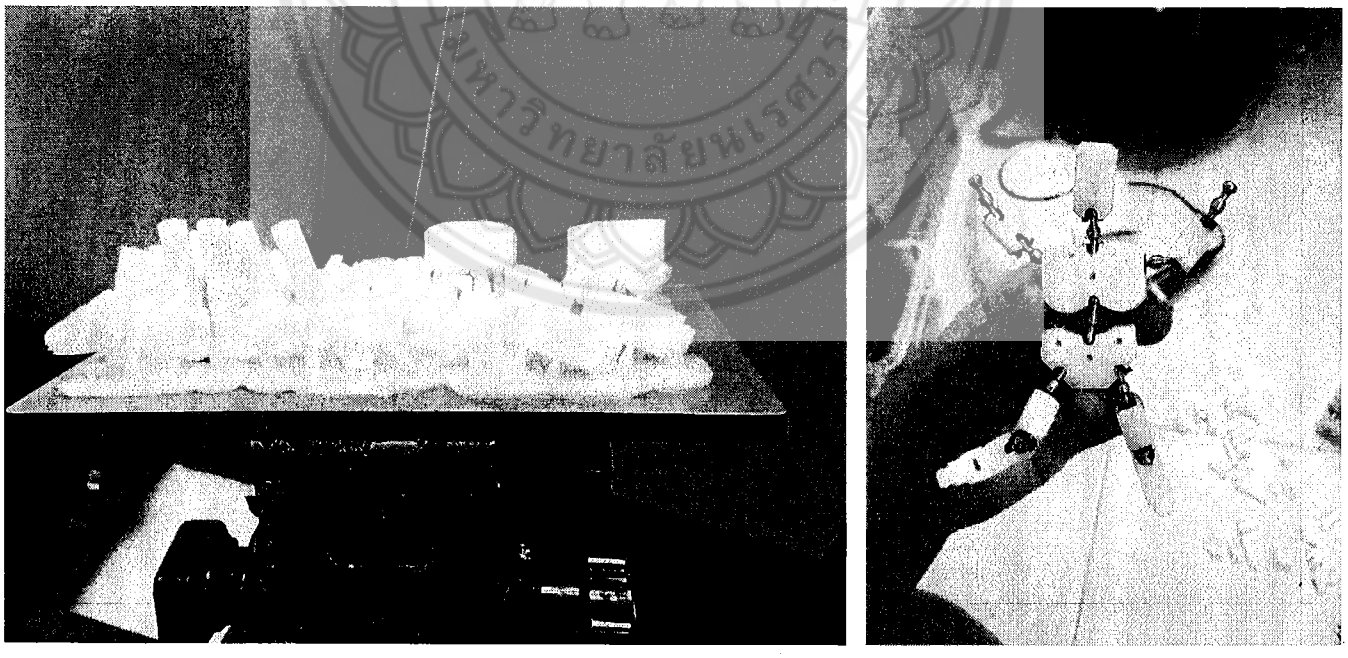
-ข้อต่อ Socket ผลิตจากยาง TPU

-ข้อต่อหัวบอล 1 หัวและ 2 หัว ผลิตจากอะลูมิเนียม



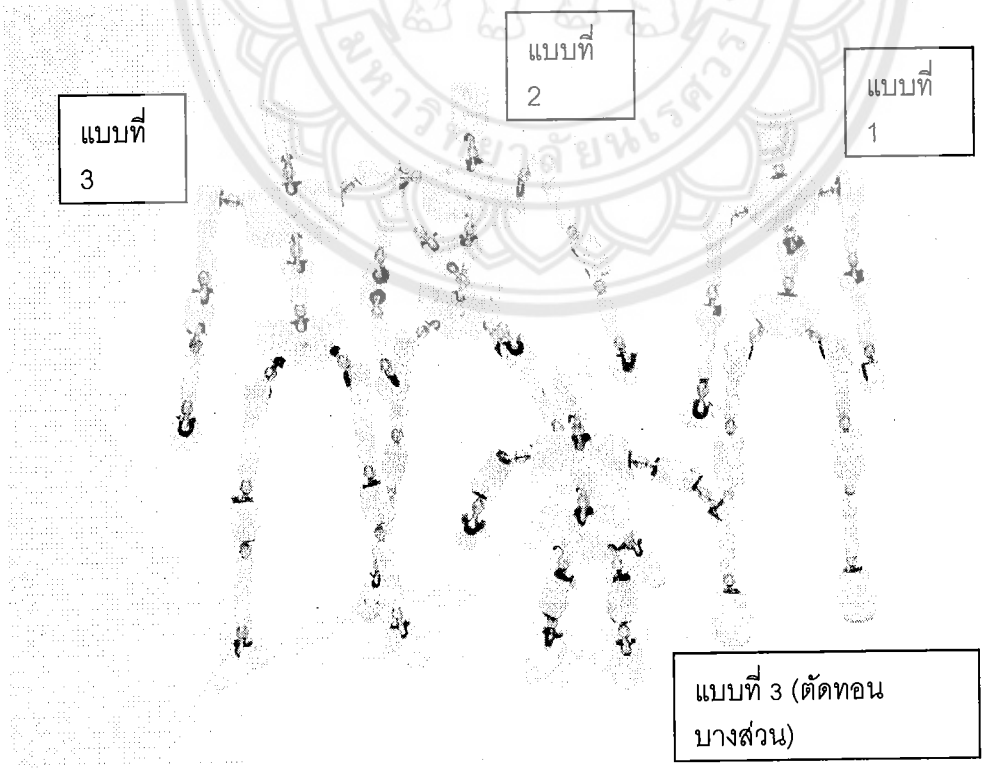
ภาพการประกอบหุ่นโครงสร้างฯ Armature รูปแบบที่ 1

ภาพการประกอบหุ่นโครงสร้างรูปแบบที่ 2 ด้วยวัสดุพลาสติก PLA



ภาพการประกอบหุ่นโครงสร้างฯ รูปแบบที่ 3 ด้วยวัสดุเรซิ่น

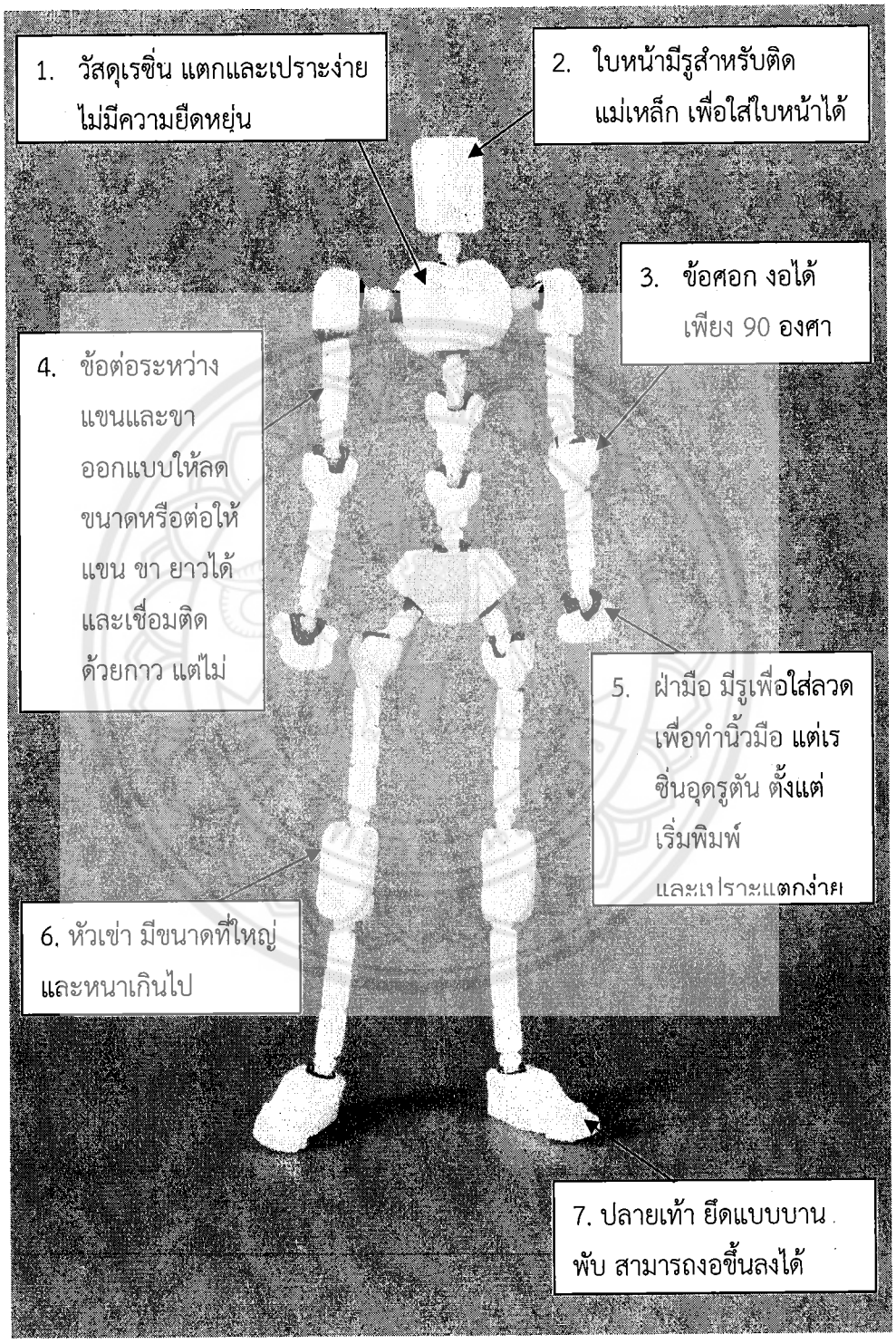
ภาพประกอบโครงสร้างแบบที่ 3 ด้วยวัสดุพลาสติก PLA



ภาพรวมการปรับปรุงหุ่นโครงสร้าง โดยพัฒนาจากรูปแบบที่ 1

แบบที่ 1 วัสดุเรซิ่น

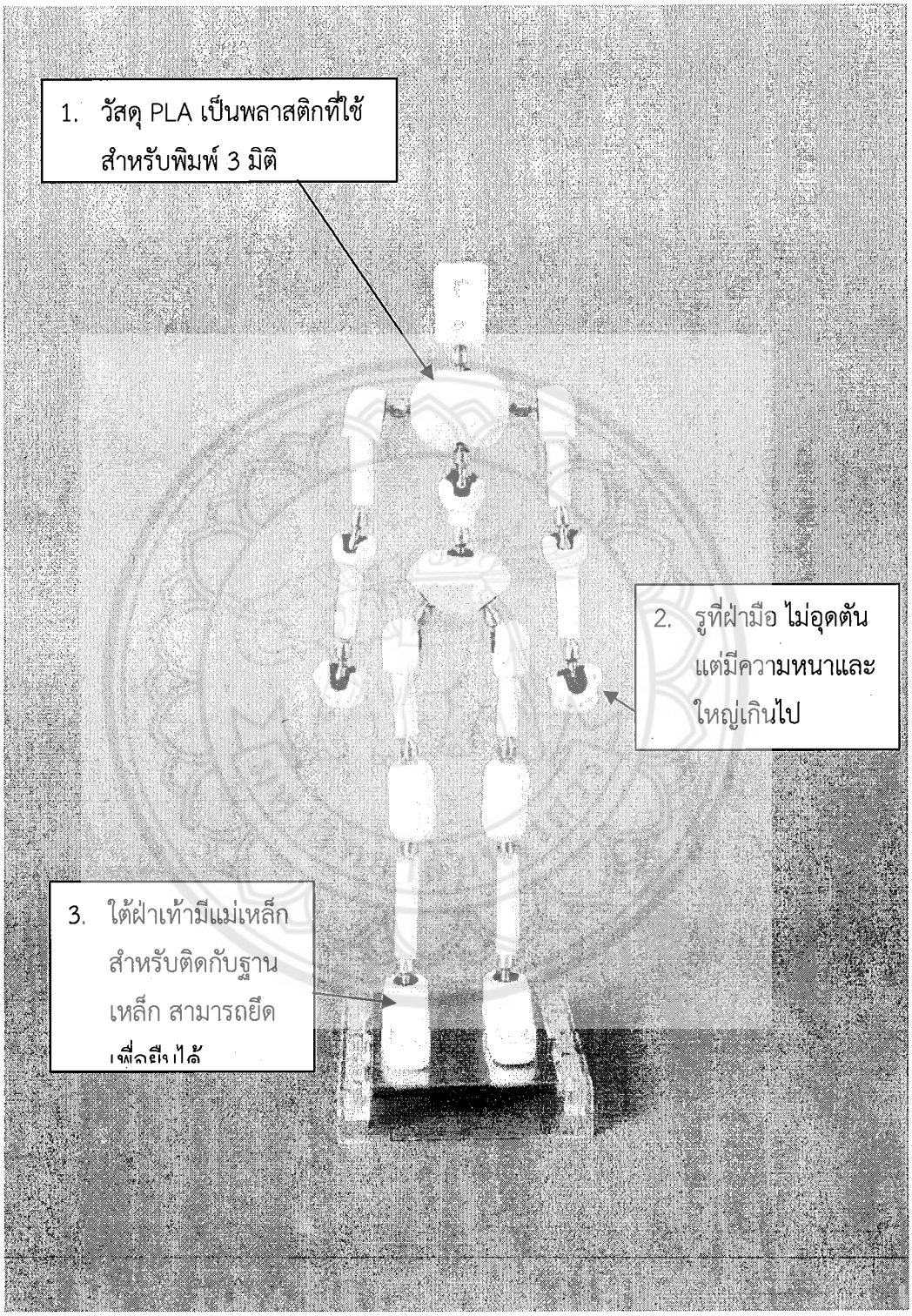
ภาพดังต่อไปนี้ ผู้วิจัยจะอธิบายจุดเด่น และ จุดบกพร่องของชิ้นงาน ซึ่งผ่านการออกแบบ และพิมพ์ต้นแบบขนาดจริง เพื่อทดสอบความสมดุล และวัสดุที่ใช้ในการผลิต มีดังต่อไปนี้



ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion รูปแบบที่ 1 วัสดุเรซิ่น

แบบที่ 1 วัสดุพลาสติก PLA

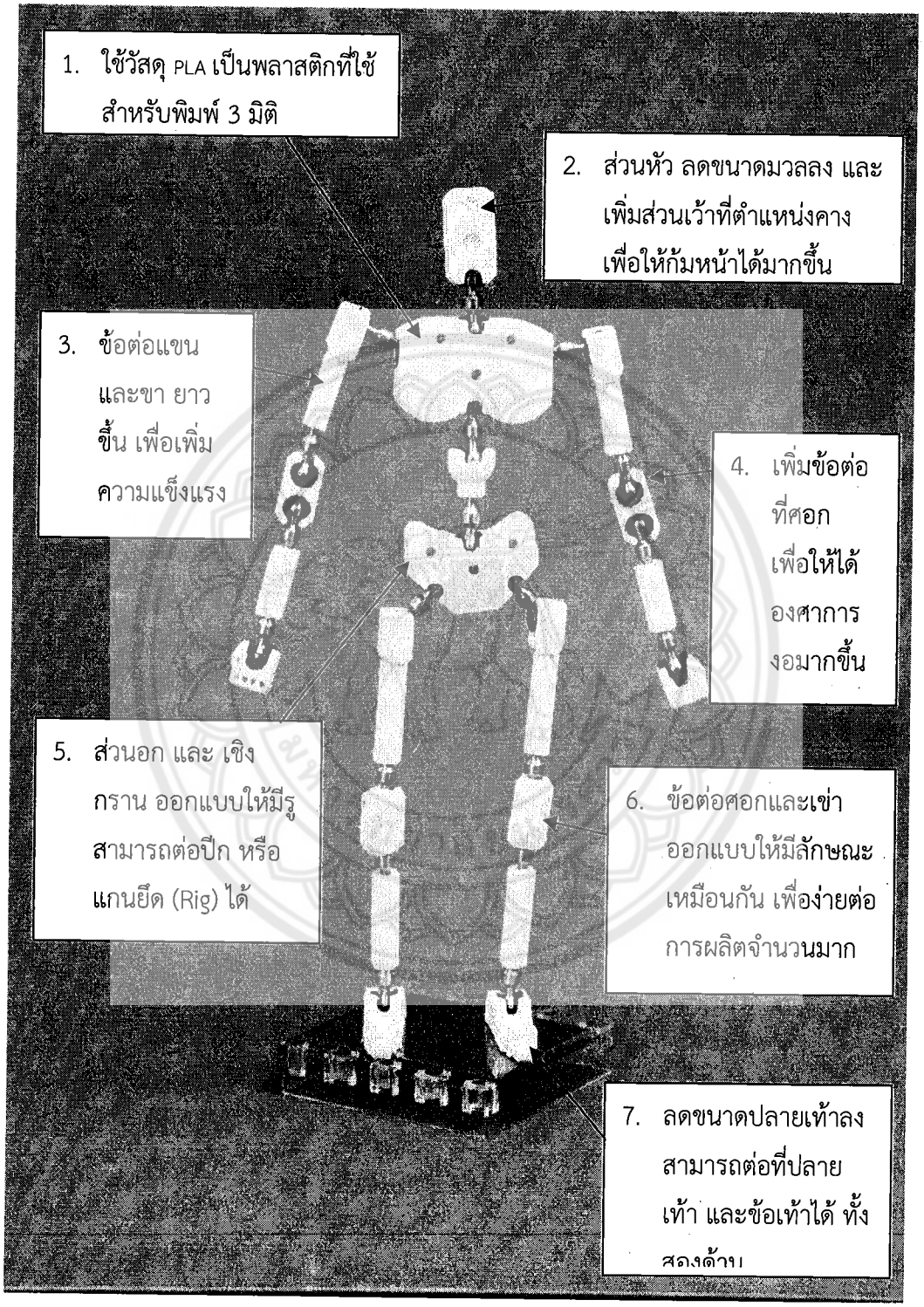
เมื่อเปลี่ยนวัสดุในการพิมพ์ มีจุดเด่นและจุดบกพร่องดังนี้



ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 1 วัสดุ PLA

แบบที่ 2 วัสดุพลาสติก PLA

รูปแบบที่2 ปรับปรุงจากแบบที่ 1 มีจุดเด่นและข้อบกพร่องดังต่อไปนี้



ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 2 วัสดุ PLA

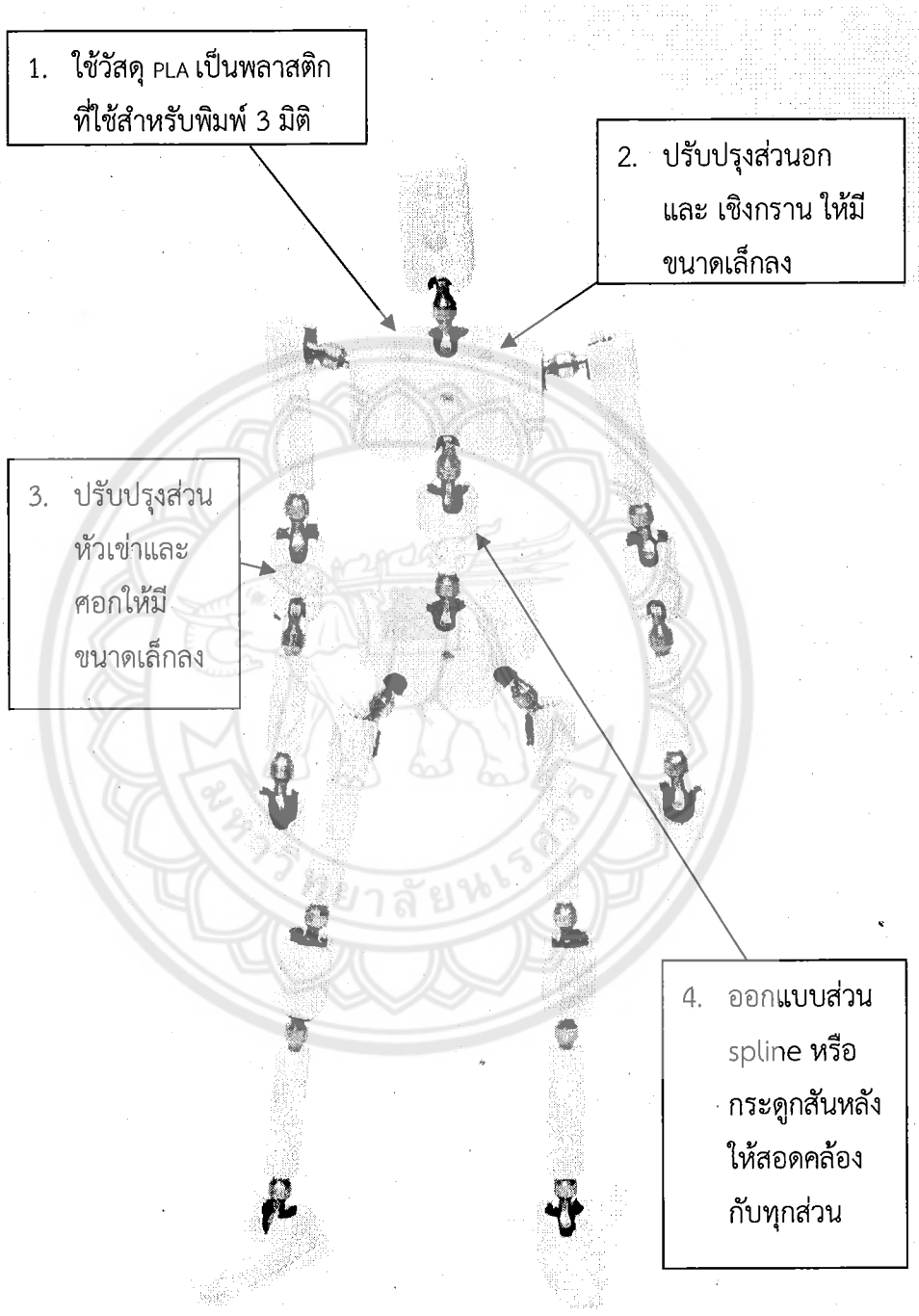
แบบที่ 3 วัสดุเรซิ่นแบบลดทอนสัดส่วน

รูปแบบที่ 3 ทดลองพิมพ์จากวัสดุเรซิ่นอีกครั้ง พบว่ายังเปราะและแตกง่ายในส่วนที่เปราะบาง เช่น ฝ่ามือ และข้อต่อที่ศอก จึงนำชิ้นส่วนที่เหลือมาการทดลองประกอบให้มีลักษณะเล็กลง คล้ายโครงสร้างเด็ก เพื่อตรวจสอบการออกแบบที่สามารถ Modify ได้ ปรับเปลี่ยนรูปแบบให้เป็นเด็ก หรือผู้ใหญ่ ได้

ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 2 วัสดุเรซิ่น, TPU และอะลูมิเนียม

แบบที่ 3 วัสดุพลาสติก PLA

ออกแบบและปรับปรุงแบบให้มีความสมดุลมากขึ้น เพื่อนำต้นแบบที่พิมพ์ด้วยพลาสติก PLA ไปขอคำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตในระบบอุตสาหกรรม



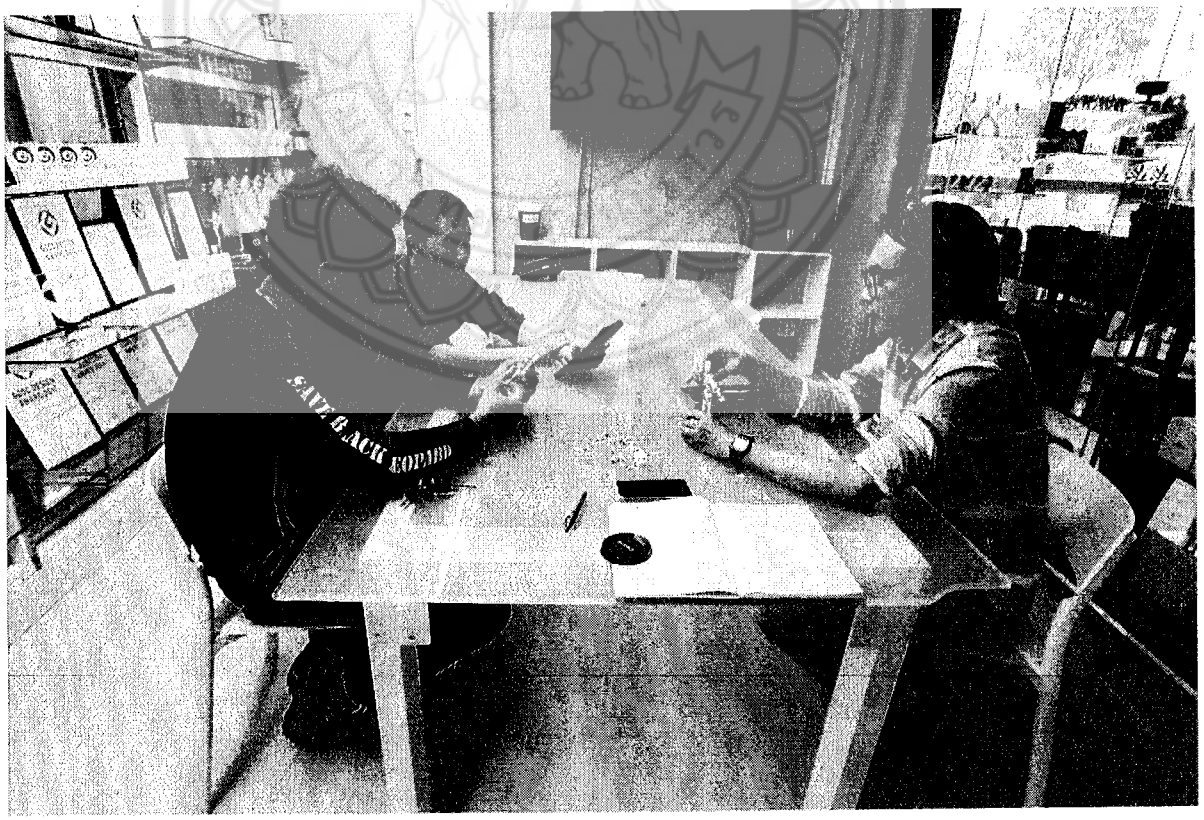
ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature รูปแบบที่ 3 วัสดุ PLA ,TPU,และ อะลูมิเนียม

เมื่อนำต้นแบบไปปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพลาสติก และที่ปรึกษาด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์การขึ้นรูป

คุณธีรชัย ศุภเมธีกูลวัฒน์ ประธานบริษัท Qualy วันที่ 16 ตุลาคม 2562

จึงได้แนวทางในการแก้ไขปรับปรุงดังนี้

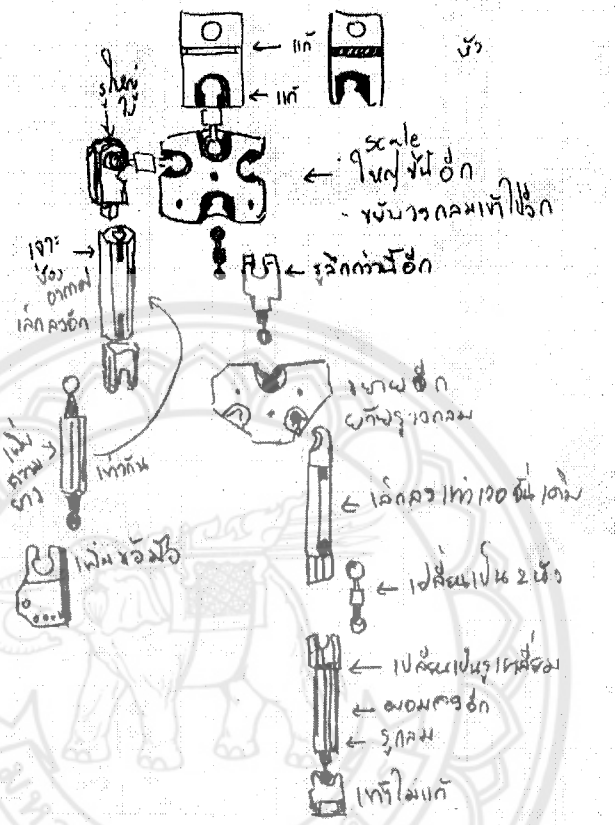
1. ควรออกแบบให้รูหรือ socket อยู่ด้านหน้า และหลัง ไม่ควรอยู่ด้านข้าง เนื่องจากโมลด์เหล็กที่ผลิตพลาสติกมีลักษณะการทับขึ้น ลง ไปทางเดียวกัน หากมีช่องด้านข้าง จะเพิ่มต้นทุนในการผลิตมาก
2. ออกแบบให้ 1 ชิ้นสามารถใช้งานได้หลายส่วนเพื่อลดต้นทุนในการผลิต เช่น ส่วนกระดูกสันหลังสามารถเป็นข้อต่อแขนและขาได้ เป็นต้น
3. ข้อต่อ ศอกและหัวเข่าควรเปลี่ยนจากบอลหัวเดียว เป็นบอลสองด้านแทน เพื่อนลดขนาดของการพับที่เข่าและศอก
4. วัสดุที่ใช้พิมพ์ต้นแบบสามมิติ ควรเป็นพลาสติกไนลอน เพื่อความเหนียวทนทานและยืดหยุ่นได้ดี
5. วัสดุที่ใช้พิมพ์ควรเป็นวัสดุเดียวกัน โดยให้ตัดยาง Socket ที่รองบริเวณข้อต่อออกไป เพื่อจะได้ไม่ต้องผลิตโมลด์เพิ่มเพื่อทำแม่พิมพ์เฉพาะยาง socket
6. หัวบอลที่เป็นอะลูมิเนียม สามารถผลิตให้เป็นพลาสติกได้ เพื่อลดต้นทุนในการผลิตอะลูมิเนียม



ภาพสัมภาษณ์ผู้เชียวชาญด้านอุตสาหกรรมพลาสติก คุณธีรชัย ศุภเมธีกูลวัฒน์ 16 ตุลาคม 2562

รูปแบบที่ 4

1. ขั้นตอนการออกแบบ

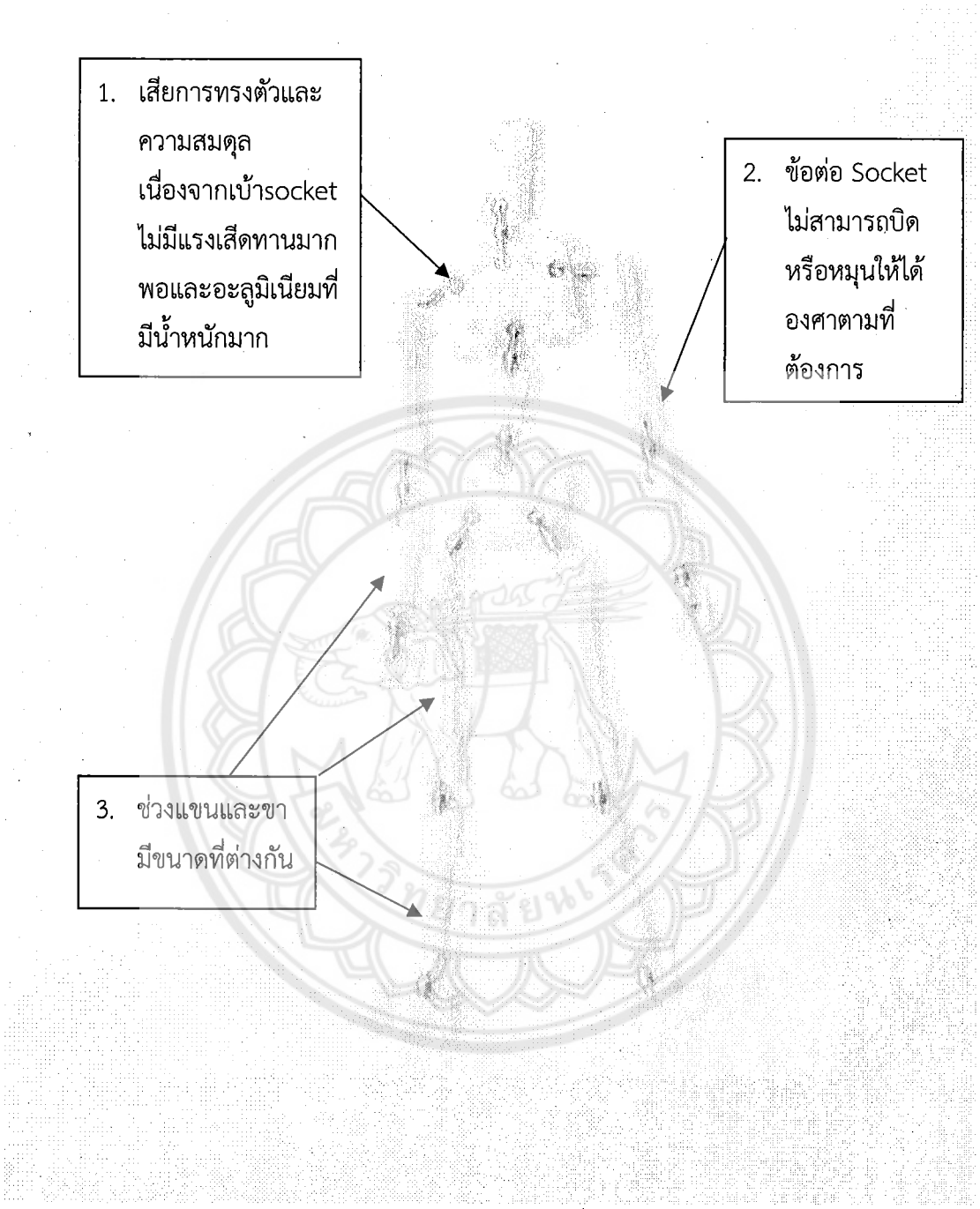


ภาพร่างหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 4

หลังจากนำตัวอย่าง Armature ไปปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญในระบบอุตสาหกรรม จึงนำมาปรับปรุงแก้ไขส่วนต่าง ๆ เพื่อให้สามารถผลิตได้จริงในระบบอุสาหกรรม ดังนี้

1. ตัดส่วนที่เป็น TPU หรือยาง Socket ออก
2. ส่วนอกและเชิงกราน เปลี่ยนการเจาะ Socket จากด้านข้างมาไว้ด้านหน้า
3. ตัดส่วนที่เป็นข้อต่อหัวเข่าและศอกออกและเปลี่ยนมาเป็น Socket แทน เพื่อรองรับบอลอะลูมิเนียม 2 หัว
4. ออกแบบsocket ของเข่า ให้ใช้ได้กับอีกหลายส่วน เช่น หัวไหล่ ศอก ขาท่อนบนที่ติดกับเชิงกราน เพื่อให้ผลิตแม่พิมพ์ Mold ได้ง่ายขึ้น

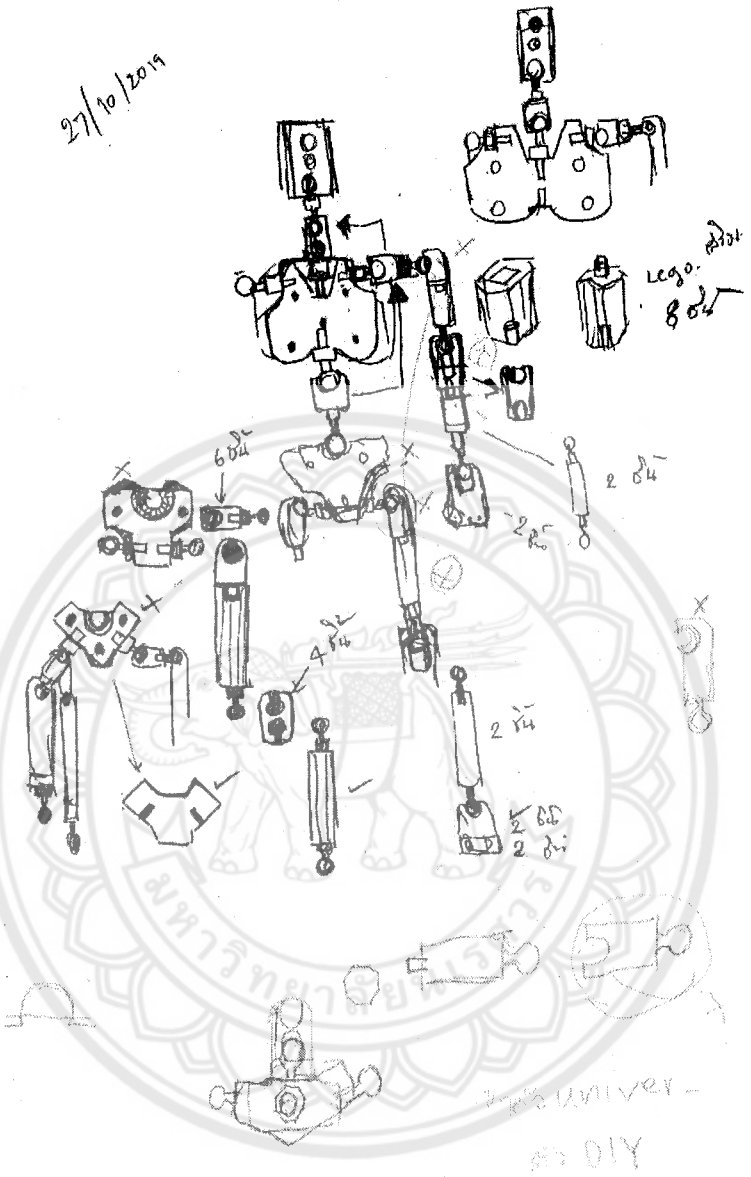
เมื่อผ่านการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยวัสดุทดลอง หรือ PLA ผลที่ได้มีดังต่อไปนี้



ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 4 วัสดุ PLA ,และ อะลูมิเนียม

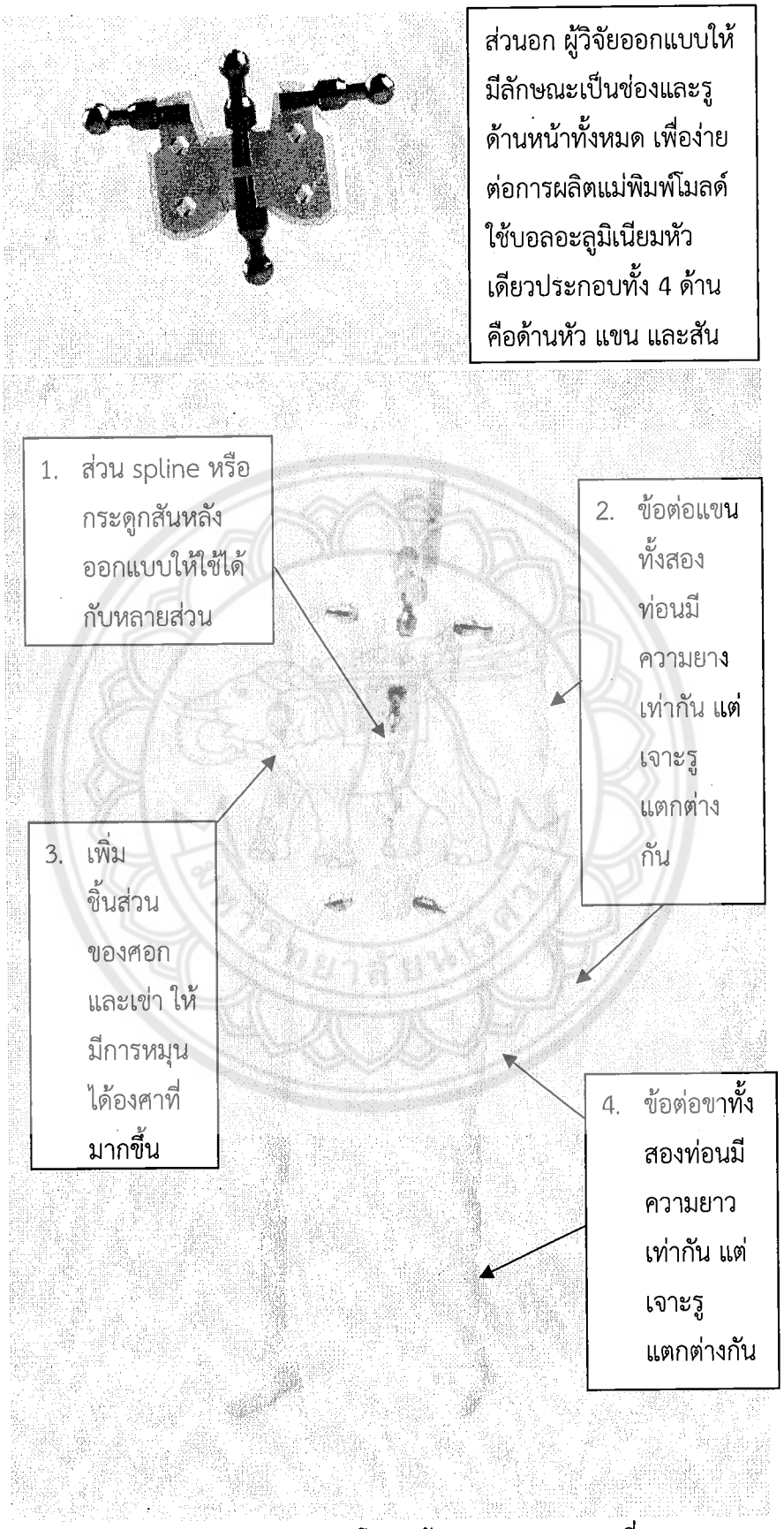
รูปแบบที่ 5

1. ขั้นตอนการออกแบบ



ภาพร่างหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 5

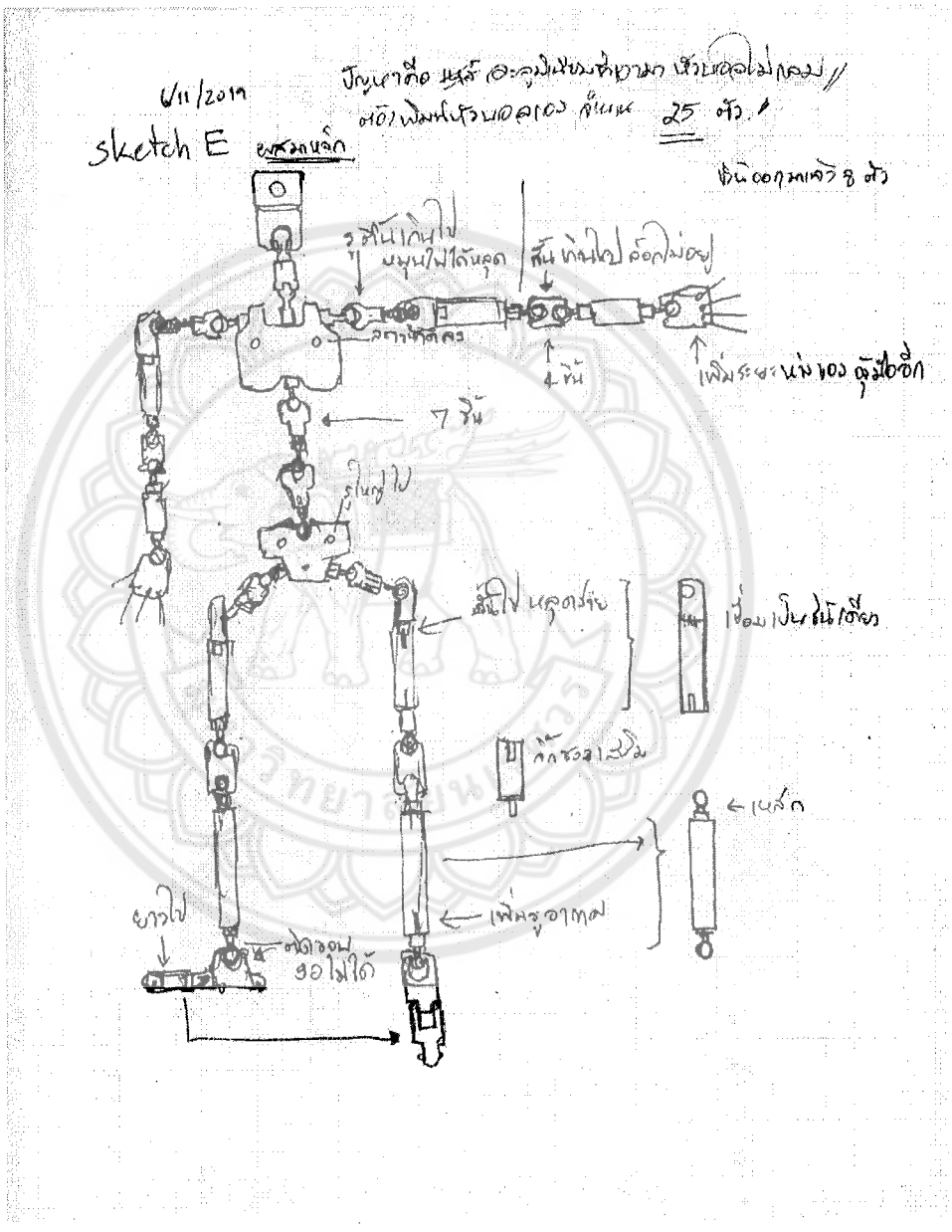
เมื่อพบปัญหาจากการเสียสมดุลในแบบที่ 4 ผู้วิจัยจึงทำการปรับแก้ในรูปแบบที่ 5 โดยลด หัวบอลอะลูมิเนียมลง และเหลือไว้เพียงข้อต่อหลักๆที่จำเป็น และคำนึงถึงรูปแบบการผลิตในระบบอุตสาหกรรมเป็นหลักสำคัญ และนำเอาข้อดีของแบบที่ 1 -2 มาปรับใช้เพิ่มเติม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



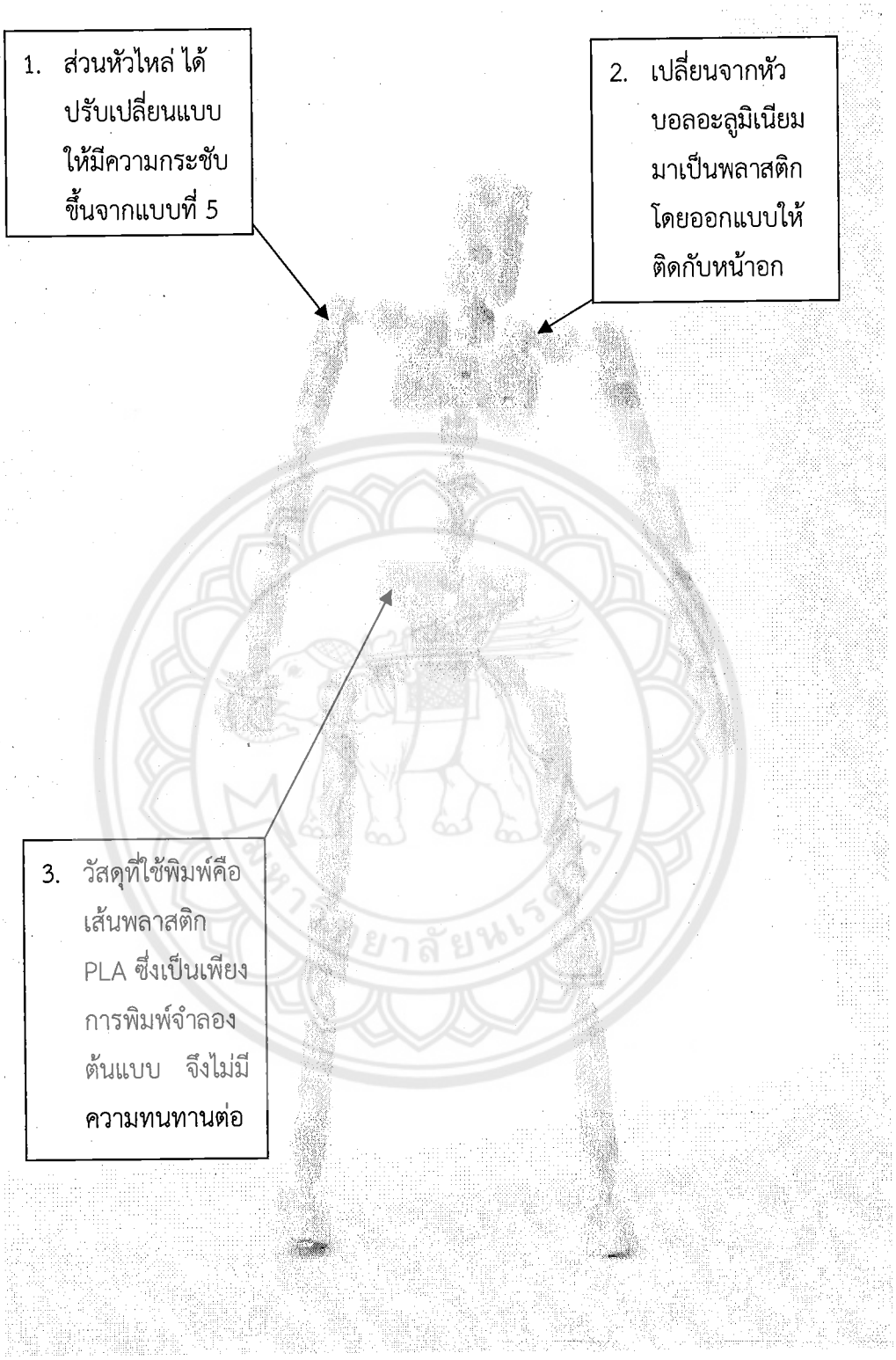
ภาพร่างหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 5

รูปแบบที่ 6

เนื่องจากโครงหุ่น Armature แบบที่ 5 ประกอบด้วยหัวบอลอะลูมิเนียม ที่มีความยาวถึง 12 มม. จึงทำให้ส่วนอก ขยายกว้างกว่าปกติ ส่งผลให้ไหล่กว้าง และส่วนเชิงกรานที่กว้างขึ้น ทำให้รูปแบบที่ 6 ผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนการออกแบบใหม่ ให้มีลักษณะเป็นพลาสติกทั้งหมด ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตหัวบอลอะลูมิเนียมได้อีกด้วย



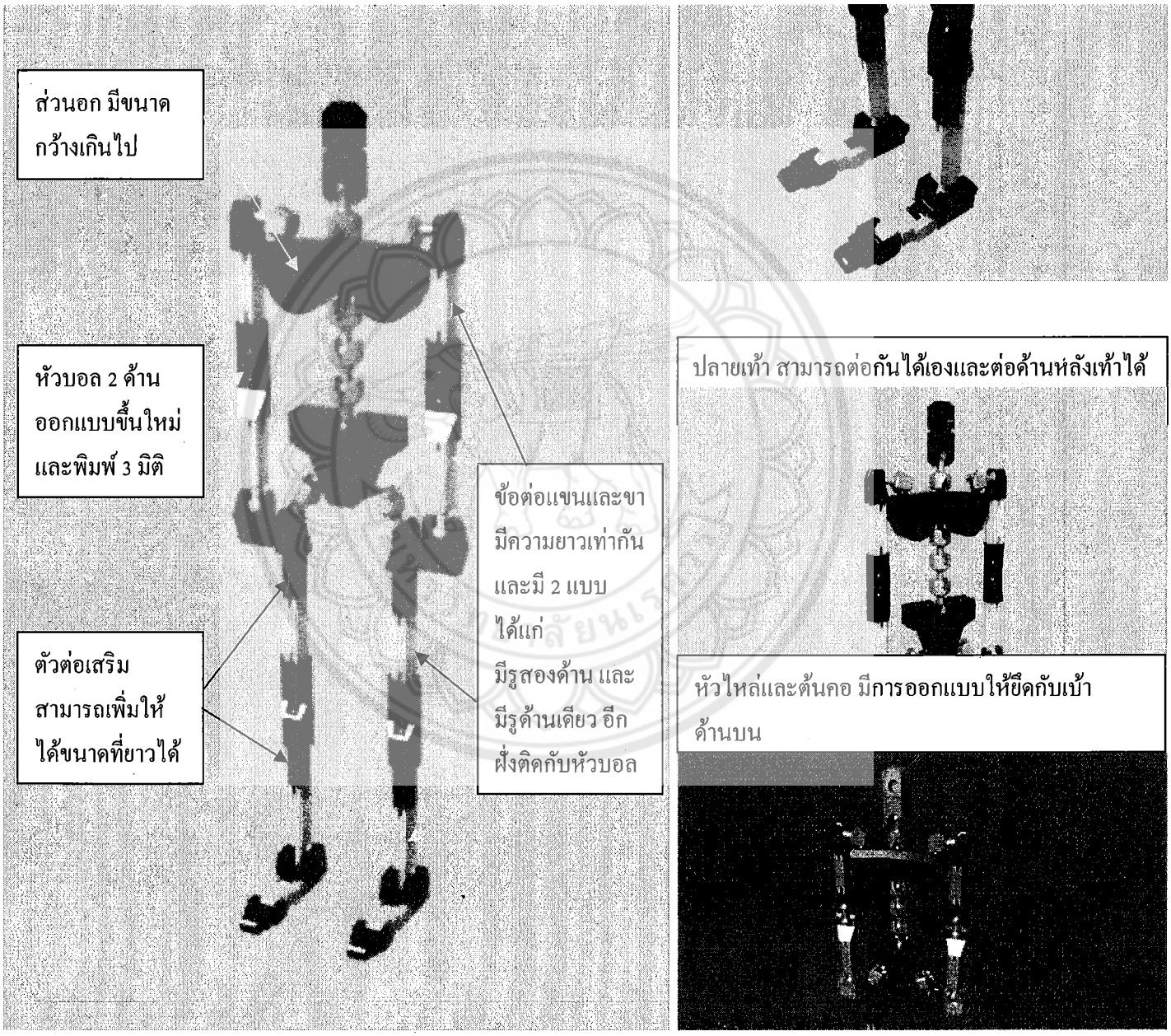
ภาพร่างหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 6



ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 6

แบบที่ 7

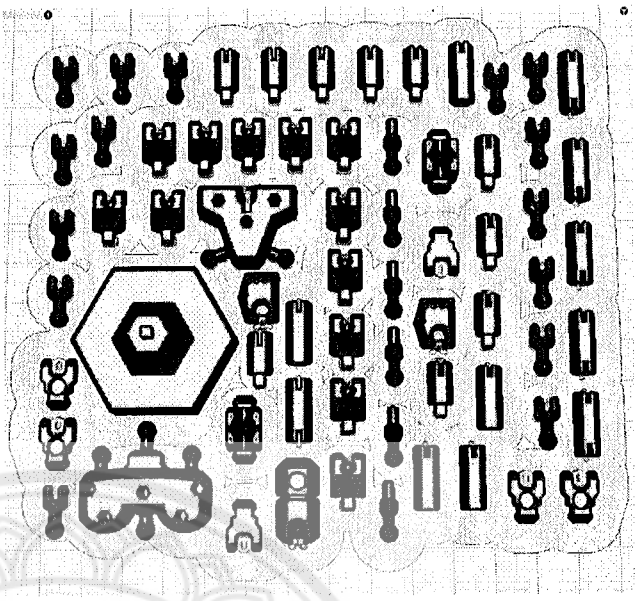
รูปแบบที่ 7 ได้ทำการปรับเปลี่ยนข้อต่อ ศอกและเข่า อีกครั้ง โดยออกแบบหัวบอล 2 ด้าน ขึ้นใหม่ ให้พิมพ์สามมิติได้และ มีขนาดที่สั้นลงจากที่เคยเป็นอะลูมิเนียม แต่พบปัญหาก่อนพิมพ์3 มิติ จริง ตรงส่วนอก ที่มีขนาดกว้างเกินไป จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขใหม่อีกครั้ง



ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 7

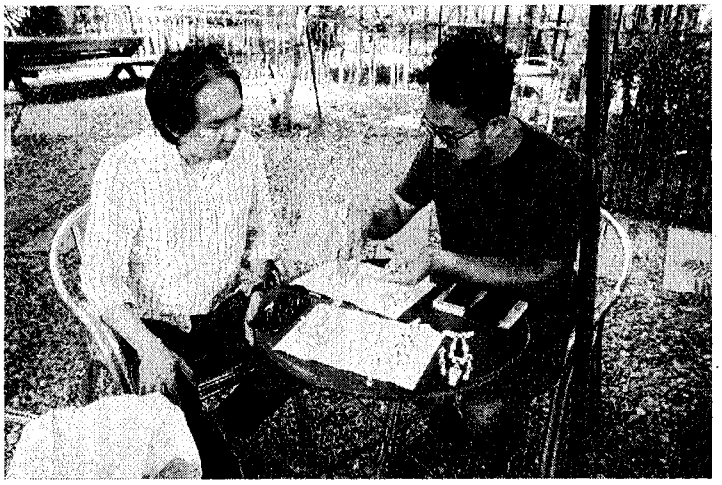
แบบที่ 8

การวางโมเดลที่ปั้นด้วยโปรแกรมสามมิติ Solid work และนำมาเรียงในโปรแกรมสำหรับสั่งพิมพ์สามมิติ ก่อนสั่งพิมพ์ต้องคำนึงถึงความละเอียดของชิ้นงานเป็นหลัก

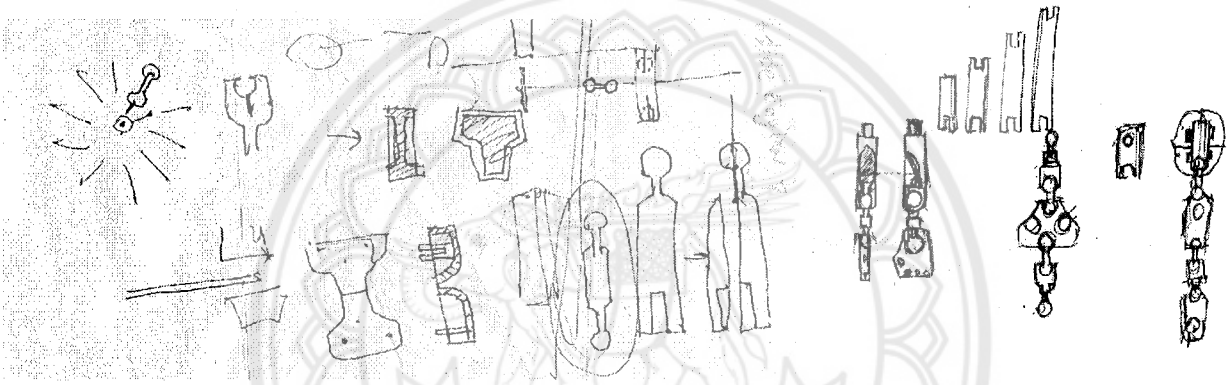


ได้ทำการปรับแก้ไข มาจากรูปแบบที่ 7 เล็กน้อย ได้แก่ ลดขนาดอกลง

ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature แบบที่ 8



ภาพสัมภาษณ์ผู้เชียวชาญ 21 พฤศจิกายน 2562



ภาพร่างจากผู้เชียวชาญด้านโครงสร้างการผลิต 21 พฤศจิกายน 2562

คำแนะนำจากผู้เชียวชาญ รอบที่ 2 เมื่อนำหุ่น Armature แบบที่ 7 มาปรึกษากับผู้เชียวชาญ

1.ควรออกแบบให้มวลที่หนา ดูโปร่งขึ้น ควรแบ่งเป็น 2 part ประกบกัน

2. คำนึงถึงความสวยงามและข้อต่อส่วนต่าง ๆ

3. สามารถนำหลายๆตัวมาต่อยอด และใช้ร่วมกันได้ทั้งตัว

4. เรื่องโครงสร้างในการพิมพ์ ควรใช้วัสดุไนลอน เพื่อใช้ในการพิมพ์ เนื่องจากมันมีความเหนียว และทนทาน สามารถยืดหยุ่นได้ เหมาะสมกับการบิดงอในงานสตอปโมชั่น

5. ตัว socket ควรจะบางลงอีกเพื่อการคืนรูปของพลาสติก

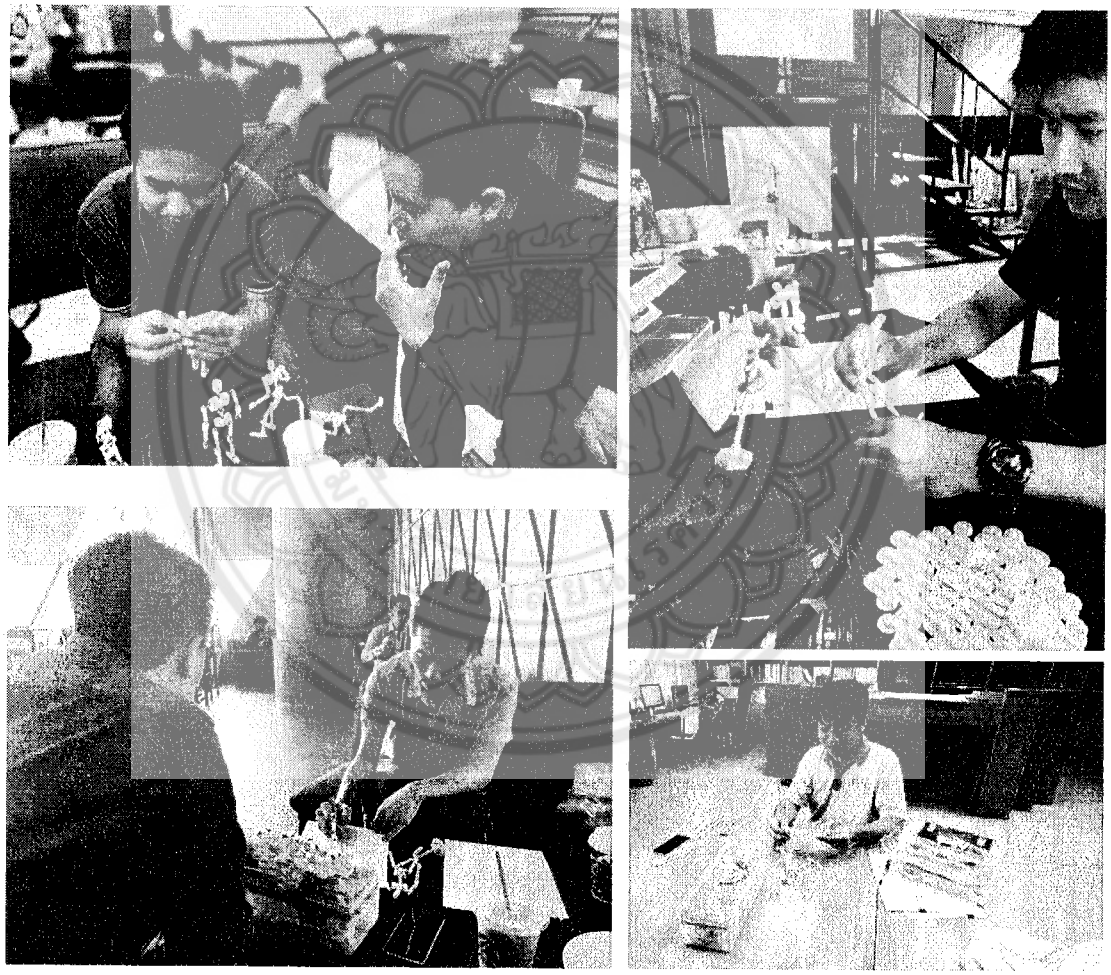
6. ส่วนอกและอุ้งเชิงกราน ควรออกแบบให้เป็นชิ้นเดียวกัน

7. ต้องจัดเรียงชิ้นส่วนให้ดี ก่อนสั่งพิมพ์โมลด์ เพราะจัดวางให้ดี จะเปลืองพื้นที่น้อยที่สุดและจะประหยัดต้นทุน

8. part ที่เป็น Socket จำเป็นต้องผ่าแยกเป็น 2 ชิ้น เพื่อให้ง่ายต่อการผลิต หรือ กรีดร่องให้กับหัวบอล เพื่อให้มันใส่ socket ได้ แต่มันอาจจะหลุดง่าย และจะมีปัญหา under cut เกิดขึ้น

หลังจากที่ได้โมเดลต้นแบบ รูปแบบที่ 8 แล้ว ผู้วิจัยได้นำไปพบผู้เชียงชาญ ที่ผลิตแอนิเมชั่นสตอปโมชั่น และผู้เชียวชาญที่เกี่ยวข้องกับการทำแอนิเมชั่นโดยตรง และได้สัมภาษณ์เชิงลึกเกี่ยวกับโครงสร้างของหุ่น และการเคลื่อนไหว โดยขอข้อมูลจากจำนวน 4 ท่าน ได้แก่

1. คุณอนุศาสตร์ ทรัพย์เจริญชัย ตำแหน่ง Supervisor Layout/Previs บริษัท Riff studio
2. คุณบันลือ กุณรักษ์ นักวิชาการช่างศิลป์ กรมศิลปากร และเจ้าของ Fanpage Thai Stop motion
3. คุณดิษพงศ์ วงศ์อร่าม เจ้าของ บริษัท Dog film studio
4. คุณธวัชพงศ์ ตั้งสัจจะพจน์ ผู้กำกับแอนิเมชั่นอิสระ



ภาพการสัมภาษณ์ผู้เชียวชาญด้านสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น 1 ธันวาคม 2562

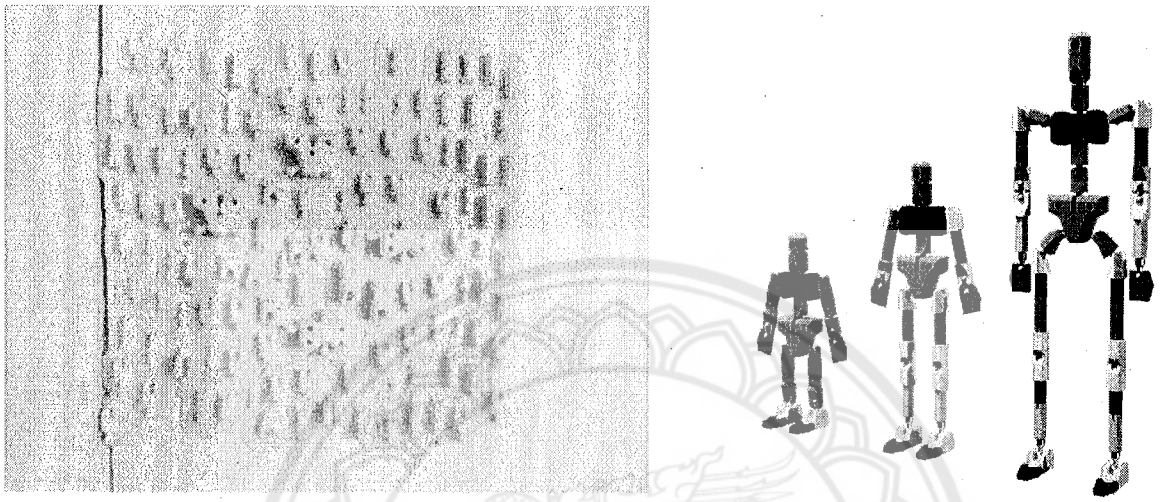
ขั้นตอนการสัมภาษณ์ได้ผลของข้อเสนอแนะ และคำแนะนำดังต่อไปนี้

1. แกนกลางลำตัว Spline มีขนาดเล็กเกินไป ซึ่งไม่สามารถรับน้ำหนักส่วนหัว อก และแขนได้นาน
2. บริเวณหัวไหล่มีรอยนูนของหัวบอล ทำให้มีผลต่อดินน้ำมัน เมื่อห่อหุ้มจะทำให้ดินน้ำมันฉีกขาดได้ง่าย
3. ควรออกแบบให้มีผิวขระขระเพื่อการยึดเกาะที่ดีข้องวัสดุหุ้ม เช่น ดินน้ำมัน
4. โครงสร้างArmature ไม่เหมาะสมกับซิลิโคน และไม่เหมาะสมกับการห่อหุ้มใดๆ เหมาะสำหรับนำไปฝึกฝนการเคลื่อนไหว (Animate) Stop motion ได้เลย และควรให้เปลี่ยนรูปแบบได้หลากหลาย
5. เหมาะสำหรับการนำมาใช้ถ่ายทำภาพยนตร์สั้นและเผยแพร่ รวมถึง ให้เห็นเบื้องหลังการสร้าง Armature ที่ประกอบขึ้นเอง

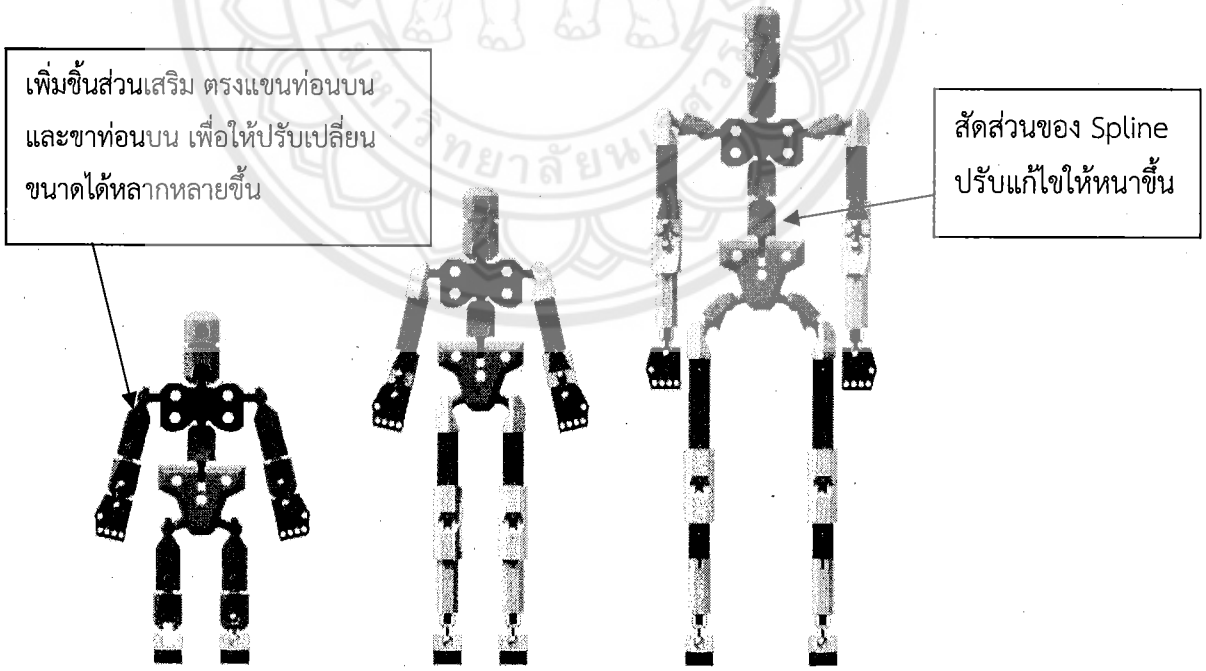
ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature รูปแบบที่ 8

หุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion รูปแบบที่ 9

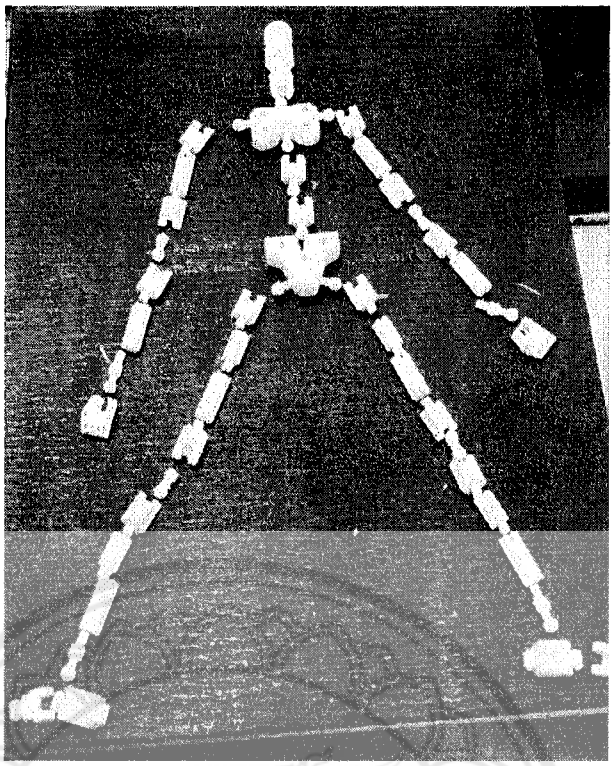
หลังจากที่นำแบบที่ 8 ไปพบผู้เชี่ยวชาญและได้คำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับแอนิเมชั่นสต็อปโมชั่น ผู้วิจัยจึงนำคำชี้แนะมาปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้มีความสวยงาม และสามารถประกอบได้หลากหลายแบบมากขึ้น



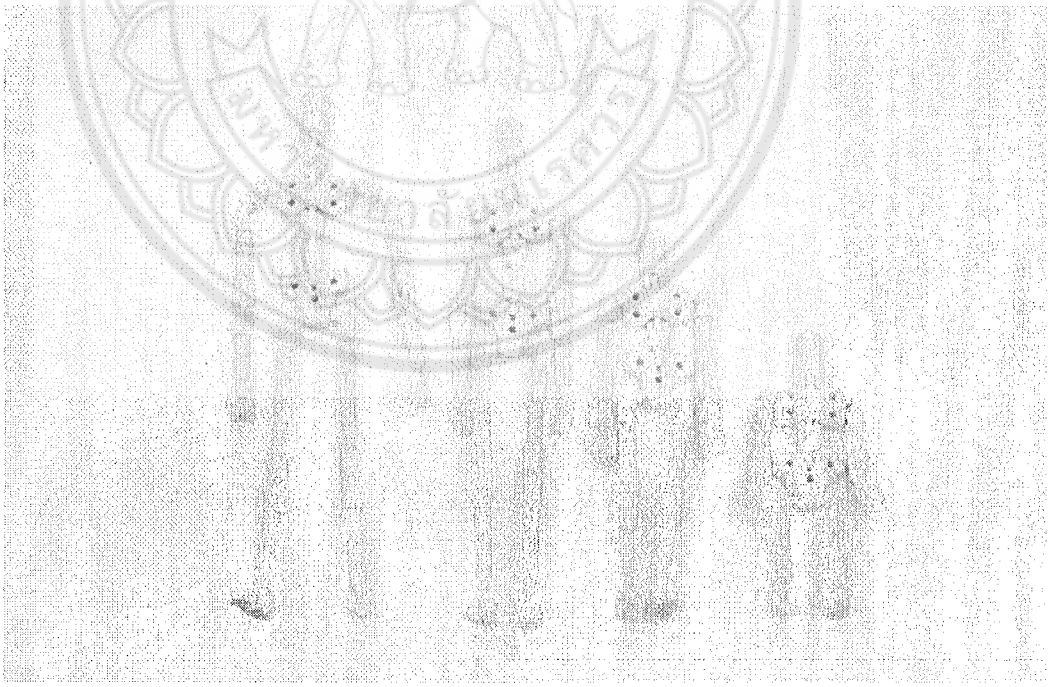
ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion รูปแบบที่ 9 และการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเครื่อง FDM



ภาพการออกแบบสามมิติหุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion รูปแบบที่ 9



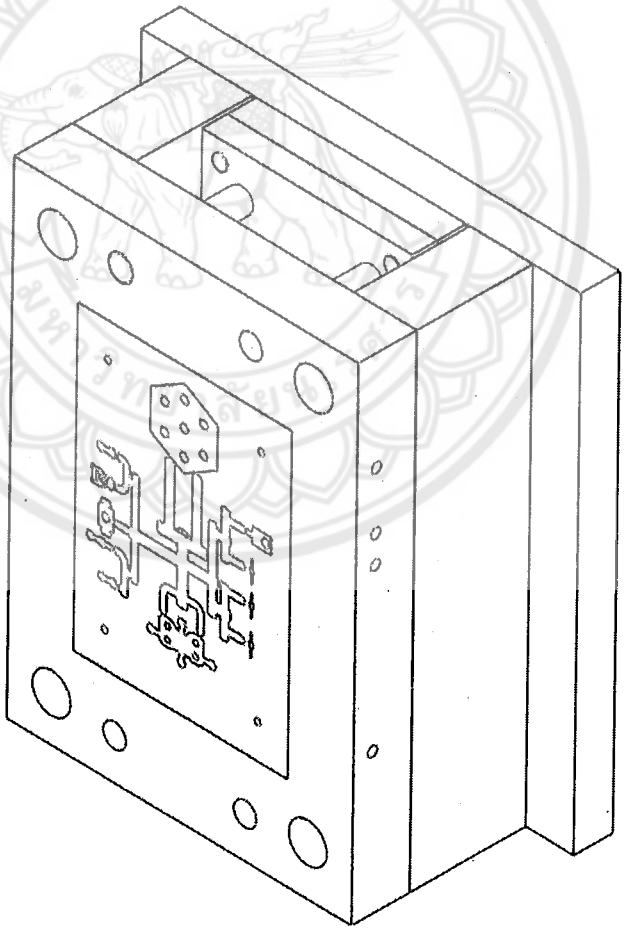
ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion รูปแบบที่ 9



ภาพหุ่นโครงสร้าง Armature Stop Motion รูปแบบที่ 9 สามารถนำมาปรับเปลี่ยนสัดส่วน เพิ่มเติมชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อการออกแบบตัวละครให้มีความหลากหลาย

วัสดุพลาสติกอีกประเภทที่ผู้ทรงคุณวุฒิและที่ปรึกษางานวิจัยแนะนำให้ทดลองใช้เป็นวัสดุสำหรับหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่น ได้แก่วัสดุพลาสติกไนล่อน เพราะมีคุณสมบัติเหนียว แข็งแรง การสึกกร่อนมีเปอร์เซ็นต์น้อยกว่าวัสดุพลาสติกอื่นๆ ผู้ทรงฯแนะนำว่า เป็นพลาสติกที่นิยมนำมาใช้เป็นข้อต่อ หล่อฉีดเป็นชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว เสียดสี กระทบสัมผัสกันมาก ไม่เปราะแตกง่าย

กระบวนการผลิตที่ใช้ในงานออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นนี้ได้เลือกใช้การฉีด (Injection Molding) โดยสามารถอธิบายหลักการของกระบวนการผลิตการขึ้นรูปแบบฉีดได้ดังนี้ เริ่มจากเติมวัตถุดิบเป็นเม็ดพลาสติกหรือเป็นผงลงในกรวยเติม (ในงานวิจัยนี้เลือกใช้พลาสติกชนิดโพลีเอไมด์หรือไนลอน) จะถูกเกลียวหนอนหมุนส่งไปยังด้านหน้าของกระบอกสูบซึ่งมีแผ่นให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า (Electrical Heater) ทำให้พลาสติกหลอมเหลวและถูกดันให้เคลื่อนตัวโดยเกลียวหนอนผ่านหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์(Mold) ซึ่งปิดอยู่ แม่พิมพ์ซึ่งจะมีการหล่อเย็นด้วยน้ำเย็นที่ผลิตจากเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เพื่อทำให้ชิ้นงานเย็นและแข็งตัว เพื่อให้สามารถถอดแม่พิมพ์ออกจากแบบได้ในระยะเวลาสั้น จากนั้นจึงส่งไปตกแต่งชิ้นงานต่อไป ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วัสดุไนลอนเนื่องจากพลาสติกชนิดนี้มีสมบัติเด่น คือ แข็งแรงเหนียว ต้านทานต่อแรงดึง และแรงฉีกขาดได้ดี ทนต่อการกัดกร่อนและการเสียดสี ไม่เสียรูปทรงง่ายเหมาะสำหรับงานรับแรงมากๆ ทั้งนี้ในงานวิจัยมีชิ้นส่วนประกอบ(ข้อต่อ) จำนวนมากซึ่งต้องมีการประกอบเพื่อใช้ในการเคลื่อนไหวชิ้นงานในจำนวนหลาย ๆ ครั้ง จึงจำเป็นต้องใช้พลาสติกที่มีความทนต่อการเสียดสีในระหว่างข้อต่อด้วยกันซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงทนทานของหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น



ภาพแม่พิมพ์แบบฉีด (Injection Molding)

การประเมินผลงานออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่น จากผลงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม ในครั้งนี้ได้ผลของการสัมภาษณ์ การทำแบบสอบถามโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สรุปแบบสอบถามจากผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบภาพยนตร์แอนิเมชั่น นักออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ในระบบอุตสาหกรรมจำนวน 6 ท่าน ได้แก่

1. คุณอนุศาสตร์ ทรัพย์เจริญชัย ตำแหน่ง Supervisor Layout/Previs บริษัท Riff studio
2. คุณบันลือ กุณรักษ์ นักวิชาการช่างศิลป์ กรมศิลปากร และเจ้าของ Fanpage Thai Stop motion
3. คุณดิษพงศ์ วงศ์อร่าม เจ้าของ บริษัท Dog film studio
4. คุณธวัชพงศ์ ตั้งสัจจะพจน์ ผู้กำกับแอนิเมชั่นอิสระ
5. คุณธีรชัย ศุภเมธีกูลวัฒน์ ประธานบริหารบริษัท Qualy
6. คุณศุภพงศ์ สอนสังข์ ที่ปรึกษาด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ ศูนย์ส่งเสริมการส่งออก กระทรวงพานิชย์ กรรมการบริหารบริษัทเจิดดีไซน์ และ Hat Design

โดยมีสรุปค่าร้อยละเชิงสถิติประเด็นต่างๆดังต่อไปนี้

1. กระบวนการออกแบบ Armature stop motion animation

Descriptive Statistics

รายการประเมิน	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
1 การออกแบบพัฒนาคุณสมบัติของยางพาราลักษณะโดยทั่วไปทางกายภาพ	6	4.00	5.00	4.8333	.40825
1.2 การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม	6	1.00	3.00	2.0000	.89443
1.3 การใช้งานโดยทั่วไปเหมาะสม	6	3.00	5.00	3.6667	.81650
1.4 ความแข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน	6	4.00	4.00	4.0000	.00000
1.5 ความปลอดภัย เหมาะสมต่อผู้ใช้งาน	6	3.00	4.00	3.5000	.54772
1.6 การปรับแต่งดัดแปลงเพื่อความเหมาะสมในการออกแบบ	6	3.00	5.00	4.1667	.98319
Valid N (listwise)	6				

ผลรวมค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบน

Statistics

		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
N	Valid	6	6
	Missing	0	0
Mean		3.9000	.60800

2. ลักษณะการใช้งาน Armature stop motion animation

Descriptive Statistics

ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
a1	4	5.00	5.00	20.00	5.0000	.00000
a2	4	1.00	2.00	7.00	1.7500	.50000
a3	4	3.00	4.00	13.00	3.2500	.50000
a4	4	4.00	5.00	18.00	4.5000	.57735
a5	4	1.00	2.00	6.00	1.5000	.57735
a6	4	2.00	3.00	10.00	2.5000	.57735
Valid N (listwise)	4					

ผลรวมค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบน

Statistics

		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
N	Valid	6	6
	Missing	0	0
Mean		3.0833	.45534

รายการประเมินใน 4 ประเด็นดังต่อไปนี้

2.1 มีกระบวนการขั้นตอนที่สามารถนำใช้งานทได้เหมาะสม

2.2 มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง

2.3 วัสดุมีความง่ายต่อการใช้งาน

2.4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานออกแบบประเภทอื่นๆได้ เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบศิลปหัตถกรรมต่างๆ

3.ส่วนของการกำหนกท่าทางการเคลื่อนไหวของ Armature stop motion animation

Descriptive Statistics

ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
a1	3	4.00	5.00	14.00	4.6667	.57735
a2	3	1.00	2.00	4.00	1.3333	.57735
a3	3	4.00	4.00	12.00	4.0000	.00000
a4	3	4.00	5.00	14.00	4.6667	.57735
a5	3	3.00	3.00	9.00	3.0000	.00000
a6	3	3.00	5.00	12.00	4.0000	1.00000
Valid N (listwise)	3					

ผลรวมค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบน

Statistics

		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
N	Valid	6	6
	Missing	0	0
Mean		3.6111	.45534

รายการประเมินใน 3 ประเด็นดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุช่วยในการเคลื่อนไหว จัดแสดงท่าทางให้เป็นไปตามความต้องการของนักออกแบบ

3.2 วัสดุมีความเหมาะสมกับเทคนิคการทำงานสต็อปโมชั่น

3.3 ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนท่าทาง การหดตัว การคืนรูป คุณสมบัติการจัดท่าทางของตัวละครด้วย Armature Stopmotion Animation สามารถสื่อสารในเรื่องของอารมณ์ การแสดงความหมายของตัวละครได้

4. มาตราฐานการผลิตและพัฒนา Armature stop motion animation

Descriptive Statistics

ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
a1	2	5.00	5.00	10.00	5.0000	.00000
a2	2	1.00	3.00	4.00	2.0000	1.41421
a3	2	3.00	3.00	6.00	3.0000	.00000
a4	2	4.00	4.00	8.00	4.0000	.00000
a5	2	3.00	3.00	6.00	3.0000	.00000
a6	2	4.00	4.00	8.00	4.0000	.00000
Valid N (listwise)	0					

ผลรวมค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบน

Statistics

		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
N	Valid	6	6
	Missing	0	0
Mean		3.5000	.23570

รายการประเมินใน 2 ประเด็นดังต่อไปนี้

4.1 มีมาตราฐาน เหมาะสม มีความเป็นไปได้ในการผลิตด้วยระบบอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม

4.2 เหมาะสมที่จะผลิตจำหน่าย

สรุปค่าการประเมินผลของการศึกษาวิจัยส่วนเป็นต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความหมายของระดับผลการประเมิน

5 หมายถึงเหมาะสมในระดับมากที่สุด

4 หมายถึงเหมาะสมในระดับมาก

3 หมายถึงเหมาะสมในระดับปานกลาง

2 หมายถึงเหมาะสมในระดับน้อย

1 หมายถึงเหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

1. กระบวนการออกแบบ Armature stop motion animation สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion ได้ค่าเฉลี่ยรวม 3.9 มีความเหมาะสมในระดับปานกลางถึงมาก ค่าเบี่ยงเบนอยู่ที่ 0.608

2. ลักษณะการใช้งาน Armature stop motion animation ได้ค่าเฉลี่ยรวม 3.08 มีความเหมาสมในระดับปานกลาง ค่าเบี่ยงเบนอยู่ที่ 0.455

3. ส่วนของการกำหนกท่าทางการเคลื่อนไหวของ Armature stop motion animation ได้ค่าเฉลี่ยรวม 3.61 มีความเหมาสมในระดับปานกลาง ค่าเบี่ยงเบนอยู่ที่ 0.455

4. มาตราฐานการผลิตและพัฒนา Armature stop motion animation สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion ได้ค่าเฉลี่ยรวม 3.5 มีความเหมาสมในระดับปานกลาง ค่าเบี่ยงเบนอยู่ที่ 0.235

แบบสอบถามการวิจัย การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม

หัวหน้าโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสิฐ จันมา อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบสื่อนวัตกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก E-mail: ed_toon@hotmail.com โทรศัพท์ 081-5334568

ผู้ร่วมวิจัย ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. เจนยุทธ ศรีหิรัญ อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

ข้อมูลสำหรับผู้ประเมินผลงาน

ชื่อ หนึ่งลิขสิทธิ์ เจริญใจ

ตำแหน่ง เจ้าของ studio DogFilm

สถานที่ทำงาน studio DogFilm

ประสบการณ์ในการทำงาน

ผลิตแอนิเมชั่น ระยะเวลา 10 ปี

ท่านสนใจเทคนิคในการทำงานประเภท Stop motion บ้างหรือไม่

(สนใจ)

ไม่สนใจ

แอนิเมชั่นเทคนิค Stop motion เรื่องใดที่ท่านชื่นชอบมากเป็นพิเศษ

1. เจ้าสาวศพสวย

2. ชีคเกิ้นรัน

3. The Nightmare Before Christmas

ท่านเคยทดลองทำผลงานแอนิเมชั่นเทคนิคแบบ Stop motion บ้างหรือไม่

(เคย)

ไม่เคย

รายละเอียด มีประสบการณ์การทำแอนิเมชั่น แบบ Stop motion มาก่อน 10 ปี

เทคนิคแอนนิเมชั่นประเภท Stop motion ที่ท่านรู้จักและสนใจคือ

(ปั้นดินน้ำมัน)

วัสดุผสม ผ้า ซิลิโคน เศษวัสดุ

โครงสร้างไม้

โครงสร้างแบบลวด

อื่นๆ.....

.....

.....

ท่านคิดว่าประเทศไทยควรมีการส่งเสริมการผลิตและสร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชั่นประเภท Stop motion หรือไม่

(สมควรมากที่สุด)

สมควร

ปานกลาง

สมควรน้อย

ท่านรู้จักเครื่องมือ Armature Stop motion Animation (โครงกระดูกหรือโครงสร้างสำหรับตัวละคร) หรือไม่

(รู้จัก)

ไม่รู้จัก

รู้จักแต่ไม่เคยทดลองใช้

ท่านสนใจทดลองใช้ Armature Stop motion Animation สำหรับงานออกแบบต่างๆ หรือไม่

(สนใจ)

ไม่สนใจ

รายละเอียด

ใช้ในการทำโฆษณา และสื่อต่าง ๆ

.....

.....

ถ้าท่านเคยทำงานออกแบบตัวละครสต็อปโมชั่น วัสดุที่ใช้ Armature Stopmotion Animation ท่านคิดว่าควรทำมาจากวัสดุใด

รายละเอียด 1. ดินน้ำมัน

2. พลาสติกปั้น

3. พลาสติก

ส่วนที่ 2 เป็นการทำแบบสอบถามการประเมินผลของผู้เชี่ยวชาญหลังจากทดสอบ ทดลองใช้หุ่นโรงสร้างสำหรับแอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น

คำชี้แจง : โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ และเขียนข้อความในช่องว่างที่ตรงกับความเห็นของท่านมากที่สุด โดยกรุณาให้ความเห็นในส่วนแบบสอบถามในตารางดังกล่าวนี้

ความหมายของระดับผลการประเมิน

5 หมายถึงเหมาะสมในระดับมากที่สุด

4 หมายถึงเหมาะสมในระดับมาก

3 หมายถึงเหมาะสมในระดับปานกลาง

2 หมายถึงเหมาะสมในระดับน้อย

1 หมายถึง เหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

ตารางที่ แสดงการประเมิน 1 ตัวละครสำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
1.	กระบวนการออกแบบ Armature Stop motion Animation สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion						
	1.1การออกแบบเพื่อพัฒนาคุณสมบัติของ Armature Stop motion Animation ลักษณะโดยทั่วไปทางกายภาพ	✓					
	1.2 การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม	✓					

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
	1.3 การใช้งานโดยทั่วไปเหมาะสม	✓					
	1.4 ความแข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน		✓				
	1.5 ความปลอดภัย เหมาะสมต่อผู้ใช้งาน	✓					
	1.6 การปรับแต่งดัดแปลงเพื่อความเหมาะสมในการออกแบบ	✓					
2	ลักษณะการใช้งานของ Armature Stop motion Animation สำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น						
	2.1 มีกระบวนการขั้นตอนที่สามารถนำใช้งานได้เหมาะสม	✓					
	2.2 มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง	✓					
	2.3 วัสดุมีความง่ายต่อการใช้งาน	✓					
	2.4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานออกแบบประเภทอื่นๆได้ เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบศิลปหัตถกรรมต่างๆ	✓					
3	ส่วนของการกำหนดทำทางการเคลื่อนไหวของ Armature Stop motion Animation ภาพยนตร์แอนิเมชั่น						
	3.1 วัสดุช่วยในการเคลื่อนไหว จัดแสดงท่าทางให้เป็นไปตามความต้องการของนักออกแบบ	✓					
	3.2 วัสดุมีความเหมาะสมกับเทคนิคการทำงานสต็อปโมชั่น	✓					
	2.2.3 ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนท่าทาง การหดตัว การคืนรูป คุณสมบัติการจัดท่าทางของตัวละครด้วย Armature Stop motion Animation สามารถสื่อสารในเรื่องของอารมณ์ การแสดงความหมายของตัวละครได้		✓				
4	มาตราฐานการผลิตและพัฒนา Armature Stop motion Animation สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion						
	4.1 มีมาตราฐาน เหมาะสม มีความเป็นไปได้ในการผลิตด้วยระบบอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม	✓					
	4.2 เหมาะสมที่จะผลิตจำหน่าย	✓					

ท่านคิดว่างานวิจัยการออกแบบพัฒนา Armature Stopmotion Animation สำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่น เทคนิคสต็อปโมชั่นในระบบอุตสาหกรรมขึ้นมานั้น มีความเหมาะสมหรือไม่

เหมาะสมดี

เหมาะสม

พอใช้

ไม่เหมาะสม

ข้อเสนอแนะอื่นๆ ช่วงหัว ไหล่ ลีความหนามากไป อาจจะหุ้มดินน้ำมัน แล้วขึ้นทดได้

ควรใส่ texture ในฟันด้วย เพื่อให้ยึดติดกับดินน้ำมันได้ดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงที่กรุณาประเมินผลงานวิจัยการพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น เพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างมาก

ผศ.ดร. วิสิฐ จันมา หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร. เจนยุทธ ศรีหิรัญ ผู้วิจัย

แบบสอบถามการวิจัย การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม

งานวิจัยเรื่อง **การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม**

หัวหน้าโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสิฐ จันมา อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบสื่อนวัตกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก E-mail: ed_toon@hotmail.com
โทรศัพท์ 081-5334568

ผู้ร่วมวิจัย ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. เจนยุทธ ศรีหิรัญ อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำหรับผู้ประเมินผลงานและให้ข้อมูล

ชื่อ ..... (ยุทธกร ศรีพงษ์เจริญโชค)

ตำแหน่ง ..... Pre-Layout Supervisor

สถานที่ทำงาน ..... RIFF studio

ประสบการณ์ในการทำงาน

..... (ก่อตั้งและดำเนินการมาแล้ว 10 ปี)

.....

.....

.....

ท่านสนใจเทคนิคในการทำงานประเภท Stop motion บ้างหรือไม่

สนใจ

ไม่สนใจ

แอนิเมชั่นเทคนิค Stop motion เรื่องใดที่ท่านชื่นชอบมากเป็นพิเศษ

Kubo

.....

.....

ท่านเคยทดลองทำผลงานแอนิเมชั่นเทคนิคแบบ Stop motion บ้างหรือไม่

เคย

ไม่เคย

รายละเอียด ทำเมื่อปี 2007 ... งานส่งครู ในคณะ

.....

.....

เทคนิคแอนนิเมชั่นประเภท Stop motion ที่ท่านรู้จักและสนใจคือ

ปั้นดินน้ำมัน

วัสดุผสม ผ้า ซิลิโคน เศษวัสดุ

โครงสร้างไม้

โครงสร้างแบบลวด

อื่นๆ.....

.....

.....

ท่านคิดว่าประเทศไทยควรมีการส่งเสริมการผลิตและสร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชั่นประเภท Stop motion หรือไม่

สมควรมากที่สุด

สมควร

ปานกลาง

สมควรน้อย

ท่านรู้จักเครื่องมือ Armature Stop motion Animation (โครงกระดูกหรือโครงสร้างสำหรับตัวละคร) หรือไม่

รู้จัก

ไม่รู้จัก

รู้จักแต่ไม่เคยทดลองใช้

ท่านสนใจทดลองใช้ Armature Stop motion Animation สำหรับงานออกแบบต่างๆ หรือไม่

สนใจ

ไม่สนใจ

รายละเอียด.....

.....

.....

.....

ถ้าท่านเคยทำงานออกแบบตัวละครสต็อปโมชั่น วัสดุที่ใช้ Armature Stop motion Animation ท่านคิดว่าควรทำมาจากวัสดุใด

รายละเอียด .....

.....

.....

.....

.....

ส่วนที่ 2 เป็นการทำแบบสอบถามการประเมินผลของผู้เชี่ยวชาญหลังจากทดสอบ ทดลองใช้หุ่นโรงสร้างสำหรับแอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น

คำชี้แจง : โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ และเขียนข้อความในช่องว่างที่ตรงกับความเห็นของท่านมากที่สุด โดยกรุณาให้ความเห็นในส่วนแบบสอบถามในตารางดังกล่าวนี้

ความหมายของระดับผลการประเมิน

5	หมายถึง	เหมาะสมในระดับมากที่สุด
4	หมายถึง	เหมาะสมในระดับมาก
3	หมายถึง	เหมาะสมในระดับปานกลาง
2	หมายถึง	เหมาะสมในระดับน้อย
1	หมายถึง	เหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

ตารางที่ แสดงการประเมิน 1 ตัวละครสำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
1.	กระบวนการออกแบบ Armature Stopmotion Animation สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion						
	1..1การออกแบบพัฒนาคุณสมบัติของ Armature Stop motion Animation ลักษณะโดยทั่วไปทางกายภาพ			✓			
	1.2 การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม				✓		
	1.3 การใช้งานโดยทั่วไปเหมาะสม				✓		
	1.4 ความแข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน					✓	
	1.5 ความปลอดภัย เหมาะสมต่อผู้ใช้งาน			✓			
	1.6 การปรับแต่งดัดแปลงเพื่อความเหมาะสมในการออกแบบ					✓	
2	ลักษณะการใช้งานของ Armature Stop motion Animation สำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น						
	2.1 มีกระบวนการขั้นตอนที่สามารถนำใช้งานได้เหมาะสม					✓	
	2.2 มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง				✓		
	2.3 วัสดุมีความง่ายต่อการใช้งาน				✓		
	2.4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานออกแบบประเภทอื่นๆได้ เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบศิลป์พิศดกรรมต่างๆ				✓		
3	ส่วนของการกำหนดทำทางการเคลื่อนไหวของ Armature Stop motion Animation ภาพยนตร์แอนิเมชั่น						
	3.1 วัสดุช่วยในการเคลื่อนไหว จัดแสดงท่าทางให้เป็นไปตามความต้องการของนักออกแบบ				✓		
	3.2 วัสดุมีความเหมาะสมกับเทคนิคการทำงานสต็อปโมชั่น					✓	
	2.2.3 ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนท่าทาง การหดตัว การคืนรูป คุณสมบัติการจัดท่าทางของตัวละครด้วย Armature Stopmotion Animation สามารถสื่อสารในเรื่องของอารมณ์ การแสดงความหมายของตัวละครได้					✓	
4	มาตราฐานการผลิตและพัฒนา Armature Stop motion Animation สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion						
	4.1 มีมาตราฐาน เหมาะสม มีความเป็นไปได้ในการผลิตด้วยระบบอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม					✓	

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
	4.2 เหมาะสมที่จะผลิตจำหน่าย			✓			

ท่านคิดว่างานวิจัยการออกแบบพัฒนา Armature Stopmotion Animation สำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่น เทคนิคสต๊อปโมชั่นในระบบอุตสาหกรรมขึ้นมานั้น มีความเหมาะสมหรือไม่

เหมาะสมดี

✓ เหมาะสม

พอใช้

ไม่เหมาะสม

ข้อเสนอแนะอื่นๆ.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงที่กรุณาประเมินผลงานวิจัยการพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต๊อปโมชั่นแอนิเมชั่น เพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างมาก

ผศ.ดร. วิสิฐ จันมา หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร. เจนยุทธ ศรีหิรัญ ผู้วิจัย

แบบสอบถามการวิจัย การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสตีอปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสตีอปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม
หัวหน้าโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสิฐ จันมา อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบสื่อนวัตกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก E-mail: ed_toon@hotmail.com
โทรศัพท์ 081-5334568

ผู้ร่วมวิจัย ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. เจนยุทธ ศรีหิรัญ อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำหรับผู้ประเมินผลงานและให้ข้อมูล

ชื่อ.....

ตำแหน่ง.....

สถานที่ทำงาน.....

ประสบการณ์ในการทำงาน

.....

.....

.....

.....

ท่านสนใจเทคนิคในการทำงานประเภท Stop motion บ้างหรือไม่

(สนใจ)

ไม่สนใจ

แอนิเมชั่นเทคนิค Stop motion เรื่องใดที่ท่านชื่นชอบมากเป็นพิเศษ

.....

.....

.....

ท่านเคยทดลองทำผลงานแอนิเมชั่นเทคนิคแบบ Stop motion บ้างหรือไม่

(เคย)

ไม่เคย

รายละเอียด.....

.....

.....

เทคนิคแอนนิเมชั่นประเภท Stop motion ที่ท่านรู้จักและสนใจคือ

ปั้นดินน้ำมัน

✓ วัสดุผสม ผ้า ซิลิโคน เศษวัสดุ

โครงสร้างไม้

โครงสร้างแบบลวด

อื่นๆ.....

.....

.....

ท่านคิดว่าประเทศไทยควรมีการส่งเสริมการผลิตและสร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชั่นประเภท Stop motion หรือไม่

สมควรมากที่สุด

สมควร

ปานกลาง

✓ สมควรน้อย

ท่านรู้จักเครื่องมือ Armature Stop motion Animation (โครงกระดูกหรือโครงสร้างสำหรับตัวละคร) หรือไม่

✓ รู้จัก

ไม่รู้จัก

รู้จักแต่ไม่เคยทดลองใช้

ท่านสนใจทดลองใช้ Armature Stop motion Animation สำหรับงานออกแบบต่างๆ หรือไม่

✓ สนใจ

ไม่สนใจ

รายละเอียด.....

.....

.....

.....

ถ้าท่านเคยทำงานออกแบบตัวละครสต็อปโมชั่น วัสดุที่ใช้ Armature Stop motion Animation ท่านคิดว่าควร
ทำมาจากวัสดุใด

รายละเอียด .....

.....

.....

.....

.....

ส่วนที่ 2 เป็นการทำแบบสอบถามการประเมินผลของผู้เชี่ยวชาญหลังจากทดสอบ ทดลองใช้หุ่นโรงสร้าง**สำหรับ**
แอนิเมชั่นเทคนิคสต๊อปโมชั่น

คำชี้แจง : โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ และเขียนข้อความในช่องว่างที่ตรงกับความเห็นของท่านมากที่สุด โดย
กรุณาให้ความเห็นในส่วนแบบสอบถามในตารางดังกล่าวนี้

ความหมายของระดับผลการประเมิน

5	หมายถึง	เหมาะสมในระดับมากที่สุด
4	หมายถึง	เหมาะสมในระดับมาก
3	หมายถึง	เหมาะสมในระดับปานกลาง
2	หมายถึง	เหมาะสมในระดับน้อย
1	หมายถึง	เหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

ตารางที่ แสดงการประเมิน 1 ตัวละครสำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิคสต๊อปโมชั่น

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
1.	กระบวนการออกแบบ Armature Stopmotion Animation สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion						
	1.1การออกแบบพัฒนาคุณสมบัติของ Armature Stop motion Animation ลักษณะโดยทั่วไปทางกายภาพ		✓				
	1.2 การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม			✓			
	1.3 การใช้งานโดยทั่วไปเหมาะสม			✓			
	1.4 ความแข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน			✓			
	1.5 ความปลอดภัย เหมาะสมต่อผู้ใช้งาน	✓					
	1.6 การปรับแต่งดัดแปลงเพื่อความเหมาะสมในการออกแบบ		✓				
2	ลักษณะการใช้งานของ Armature Stop motion Animation สำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิคสต๊อปโมชั่น						
	2.1 มีกระบวนการขั้นตอนที่สามารถนำใช้งานได้เหมาะสม		✓				
	2.2 มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง			✓			
	2.3 วัสดุมีความง่ายต่อการใช้งาน			✓			
	2.4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานออกแบบประเภทอื่นๆได้ เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบศิลปหัตถกรรมต่างๆ			✓			
3	ส่วนของการกำหนดท่าทางการเคลื่อนไหวของ Armature Stop motion Animation ภาพยนตร์แอนิเมชั่น						
	3.1 วัสดุช่วยในการเคลื่อนไหว จัดแสดงท่าทางให้เข้าใจตามความต้องการของนักออกแบบ		✓				
	3.2 วัสดุมีความเหมาะสมกับเทคนิคการทำงานสต๊อปโมชั่น		✓				
	2.2.3 ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนท่าทาง การหดตัว การคืนรูป คุณสมบัติการจัดท่าทางของตัวละครด้วย Armature Stopmotion Animation สามารถสื่อสารในเรื่องของอารมณ์ การแสดงความหมายของตัวละครได้		✓				
4	มาตรฐานการผลิตและพัฒนา Armature Stop motion Animation สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion						
	4.1 มีมาตรฐาน เหมาะสม มีความเป็นไปได้ในการผลิตด้วยระบบอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม			✓			

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
	4.2 เหมาะสมที่จะผลิตจำหน่าย			✓			

ท่านคิดว่างานวิจัยการออกแบบพัฒนา Armature Stopmotion Animation สำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่น เทคนิคสต็อปโมชั่นในระบบอุตสาหกรรมขึ้นมานั้น มีความเหมาะสมหรือไม่

เหมาะสมดี

✓ เหมาะสม

พอใช้

ไม่เหมาะสม

ข้อเสนอแนะอื่นๆ.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงที่กรุณาประเมินผลงานวิจัยการพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต๊อปโมชั่นแอนิเมชั่น เพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างมาก

ผศ.ดร. วิสิฐ จันมา หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร. เจนยุทธ ศรีหิรัญ ผู้วิจัย

แบบสอบถามการวิจัย การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม

หัวหน้าโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสิฐ จันมา อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบสื่อนวัตกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก E-mail: ed_toon@hotmail.com โทรศัพท์ 081-5334568

ผู้ร่วมวิจัย ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. เจนยุทธ ศรีหิรัญ อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำหรับผู้ประเมินผลงานและให้ข้อมูล

ชื่อ ธวัชพงศ์ ตั้งวัจนะพงษ์

ตำแหน่ง ผู้ดีกับ แอนิมชั่นอิสระ

สถานที่ทำงาน FREELANCE

ประสบการณ์ในการทำงาน

ทำมิวสิควิดีโอ, กันตาแอนิมชั่น

ทีวีสะเฟรม แอนิมชั่นเฮ้าส์

อื่นๆ ทีวีสะเฟรม

.....

.....

ถ้าท่านเคยทำงานออกแบบตัวละครสต็อปโมชั่น วัสดุที่ใช้ Armature Stop motion Animation ท่านคิดว่าควรทำมาจากวัสดุใด

รายละเอียด ควรสามารถปรับใช้กับวัสดุหลากหลายชนิด เช่น อลูมิเนียม ซิลิโคน ฯลฯ

.....

.....

.....

.....

ส่วนที่ 2 เป็นการทำแบบสอบถามการประเมินผลของผู้เชี่ยวชาญหลังจากทดสอบ ทดลองใช้หุ่นโรงสร้าง**สำหรับแอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น**

คำชี้แจง : โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ และเขียนข้อความในช่องว่างที่ตรงกับความเห็นของท่านมากที่สุด โดย**กรุณา**ให้ความเห็นในส่วนแบบสอบถามในตารางดังกล่าวนี้

ความหมายของระดับผลการประเมิน

	5	หมายถึง	เหมาะสมในระดับมากที่สุด
✓	4	หมายถึง	เหมาะสมในระดับมาก
	3	หมายถึง	เหมาะสมในระดับปานกลาง
	2	หมายถึง	เหมาะสมในระดับน้อย
	1	หมายถึง	เหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

ตารางที่ แสดงการประเมิน 1 ตัวละครสำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
1.	กระบวนการออกแบบ Armature Stopmotion Animation สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion						
	1..1การออกแบบพัฒนาคุณสมบัติของ Armature Stop motion Animation ลักษณะโดยทั่วไปทางกายภาพ		✓				
	1.2 การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม		✓				
	1.3 การใช้งานโดยทั่วไปเหมาะสม		✓				
	1.4 ความแข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน		✓				
	1.5 ความปลอดภัย เหมาะสมต่อผู้ใช้งาน		✓				
	1.6 การปรับแต่งดัดแปลงเพื่อความเหมาะสมในการออกแบบ		✓				
2	ลักษณะการใช้งานของ Armature Stop motion Animation สำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น						
	2.1 มีกระบวนการขั้นตอนที่สามารถนำใช้งานได้เหมาะสม		✓				
	2.2 มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง		✓				
	2.3 วัสดุมีความง่ายต่อการใช้งาน	✓					
	2.4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานออกแบบประเภทอื่นๆได้ เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบศิลปหัตถกรรมต่างๆ	✓					
3	ส่วนของการกำหนดท่าทางการเคลื่อนไหวของ Armature Stop motion Animation ภาพยนตร์แอนิเมชั่น						
	3.1 วัสดุช่วยในการเคลื่อนไหว จัดแสดงท่าทางให้เป็นไปตามความต้องการของนักออกแบบ	✓					
	3.2 วัสดุมีความเหมาะสมกับเทคนิคการทำงานสต็อปโมชั่น		✓				
	2.2.3 ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนท่าทาง การหดตัว การคืนรูป คุณสมบัติการจัดท่าทางของตัวละครด้วย Armature Stopmotion Animation สามารถสื่อสารในเรื่องของอารมณ์ การแสดงความหมายของตัวละครได้	✓					
4	มาตราฐานการผลิตและพัฒนา Armature Stop motion Animation สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion						
	4.1 มีมาตราฐาน เหมาะสม มีความเป็นไปได้ในการผลิตด้วยระบบอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม		✓				

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
	4.2 เหมาะสมที่จะผลิตจำหน่าย		/				

ท่านคิดว่างานวิจัยการออกแบบพัฒนา Armature Stopmotion Animation สำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่น เทคนิคสต็อปโมชั่นในระบบอุตสาหกรรมขึ้นมานั้น มีความเหมาะสมหรือไม่

เหมาะสมดี

เหมาะสม

พอใช้

ไม่เหมาะสม

ข้อเสนอแนะอื่นๆ น่าจะนำไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ
และเผยแพร่ รวมถึงให้เห็นขั้นตอนการสร้าง
ที่ใช้ ARMATURE รูปแบบที่สร้างขึ้นเอง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงที่กรุณาประเมินผลงานวิจัยการพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่น เพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างมาก

ผศ.ดร. วิสิฐ จันมา หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร. เจนยุทธ ศรีหิรัญ ผู้วิจัย

สรุปแบบสอบถาม

ประสบการณ์ในการทำงาน

1. ผู้เชียวชาญมีประสบการณ์ทางด้าน stop motion มากกว่า 10 ปี
2. ผู้เชียวชาญมีประสบการณ์ทางด้านแอนิเมชั่น มากกว่า 10 ปี
3. ผู้เชียวชาญมีบริษัทที่ผลิตเกี่ยวกับแอนิเมชั่น และทำงานด้านแอนิเมชั่นโดยตรง

ท่านสนใจเทคนิคในการทำงานประเภท Stopmotion บ้างหรือไม่

ทั้ง 4 ท่านมีความสนใจ

แอนิเมชั่นเทคนิค Stopmotion เรื่องใดที่ท่านชื่นชอบมากเป็นพิเศษ

1.เจ้าสาวศพสวย

2.chicken run

3.the nightmare before chrismas

4.Kubo

5.paranorman

6.ผลงานของ Aadman studio, Laika studio, pixilation, cutout animation

ท่านเคยทดลองทำผลงานแอนิเมชั่นเทคนิคแบบ Stopmotion บ้างหรือไม่

ผู้เชียวชาทั้ง 4 ท่าน เคยทดลองทำผลงานแอนิเมชั่นเทคนิคแบบ Stopmotion

รายละเอียด

ท่านที่ 1 มีประสบการณ์ทางด้าน stop motion มากกว่า 10 ปี เป็นผู้ก่อตั้ง Dog film studio

ท่านที่ 2 เคยทำในปี2007 งานศึกษาในคณะ

ท่านที่ 3 เคยทำ pupped stop motion

ท่านที่ 4 ทำ Project ปริญญาโท โดยใช้โครงสร้างเหล็กและดินน้ำมัน

เทคนิคแอนนิเมชั่นประเภท Stopmotion ที่ท่านรู้จักและสนใจคือ

ปั้นดินน้ำมัน =3

วัสดุผสม ผ้า ซิลิโคน เศษวัสดุ =3

โครงสร้างไม้ =1

โครงสร้างแบบลวด = 1

ท่านคิดว่าประเทศไทยควรมีการส่งเสริมการผลิตและสร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชั่นประเภท Stopmotion หรือไม่

ผู้เชียวชาทั้ง 4 ท่าน ให้ความเห็นว่า สมควรมากที่สุด

ท่านรู้จักเครื่องมือ Armature Stopmotion Animation (โครงกระดูกหรือโครงสร้างสำหรับตัวละคร) หรือไม่

รู้จัก = 3 ท่าน

รู้จักแต่ไม่เคยทดลองใช้ = 1 ท่าน

ท่านสนใจทดลองใช้ Armature Stopmotion Animation สำหรับงานออกแบบต่างๆ หรือไม่

ผู้เชียวชาทั้ง 4 ท่าน สนใจ ทดลองใช้ Armature Stopmotion Animation

รายละเอียด

1. ใช้ในการโฆษณาและสื่อต่างๆ

ถ้าท่านเคยทำงานออกแบบตัวละครสต็อปโมชั่น วัสดุที่ใช้ Armature Stopmotion Animation ท่านคิดว่าควรทำมาจากวัสดุใด

รายละเอียด

1. ควรสามารถปรับใช้กับวัสดุหลากหลายชนิด เช่นดินน้ำมัน ซิลิโคน
2. ควรทาจาก ดินน้ำมัน พลาสติกซีน และ พลาสติก
3. วัสดุแบบผสม

ส่วนที่ 2 เป็นการทำแบบสอบถามการประเมินผลของผู้เชี่ยวชาญหลังจากทดสอบ ทดลองใช้หุ่นโรงสร้าง สำหรับแอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น

คำชี้แจง : โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ และเขียนข้อความในช่องว่างที่ตรงกับความเห็นของท่านมากที่สุด โดยกรุณาให้ความเห็นในส่วนแบบสอบถามในตารางดังกล่าวนี้

ความหมายของระดับผลการประเมิน

5 หมายถึงเหมาะสมในระดับมากที่สุด

4 หมายถึงเหมาะสมในระดับมาก

3 หมายถึงเหมาะสมในระดับปานกลาง

2 หมายถึงเหมาะสมในระดับน้อย

1 หมายถึงเหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

ตารางที่ 1แสดงการประเมิน ตัวละครสำหรับภาพยนตร์แอนิเมชั่นเทคนิคสต็อปโมชั่น

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
1.	กระบวนการออกแบบ Armature Stopmotion Animation สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion						

บทที่ 5
สรุปผลงานศึกษาวิจัย

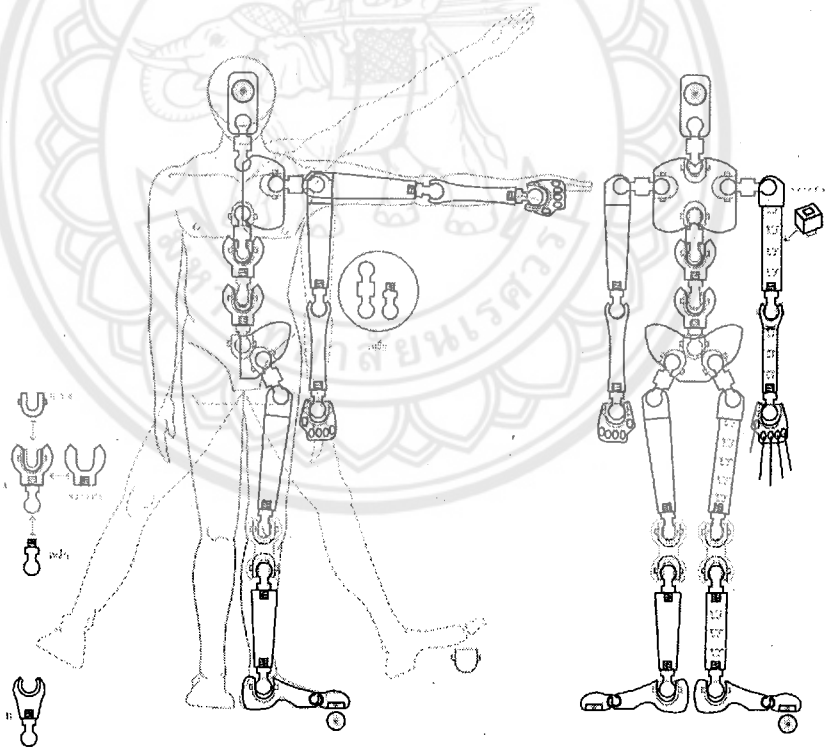
การศึกษาวิจัยในเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม ครั้งนี้มีสรุปผลการดำเนินงานวิจัยและการพัฒนาผลงานการออกแบบดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการศึกษาวิจัยในส่วนการศึกษาเอกสาร บทความ ผลงานวิจัย และงานออกแบบหุ่นโครงสร้างที่เกี่ยวข้อง การศึกษาวิเคราะห์ในเรื่องหุ่นโครงสร้างของบริษัทและภาพยนตร์ต่างๆ ที่มีวางจำหน่ายและนำเสนอไว้ในที่สาธารณะทั่วไป จากหุ่นโครงสร้างจำนวน 12 รูปแบบ ตามที่อภิปรายไว้อย่างละเอียดในส่วนบทที่ 2 โดยมีข้อสรุปหุ่นโครงสร้างฯ ในเรื่องการออกแบบรูปร่างรูปทรงที่เหมือนกับสัดส่วนมนุษย์ ในส่วนที่สามารถปรับเปลี่ยนตามการออกแบบตัวละคร บริเวณข้อต่อประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่างๆคือ ข้อต่อแบบชิ้นส่วนหัวลูกบอล ชิ้นส่วนแบบประกบข้อต่อหัวลูกบอล เพื่อการเคลื่อนที่บริเวณข้อต่อข้อพับเป็นไปอย่างอิสระและเป็นไปตามการเคลื่อนไหวในธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต วัสดุที่ใช้จากตัวอย่างกรณีศึกษาวิเคราะห์ วัสดุที่มีจำนวนการใช้งานในวงการอุตสาหกรรมแอนิเมชั่นสต็อบโมชั่นมากที่สุด ได้แก่วัสดุโลหะ เช่นอะลูมิเนียม สแตนเลส ทองเหลือง และพลาสติก PVC และพลาสติกไนล่อน พลาสติกที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น หนืดเหนียวเหมือนยาง

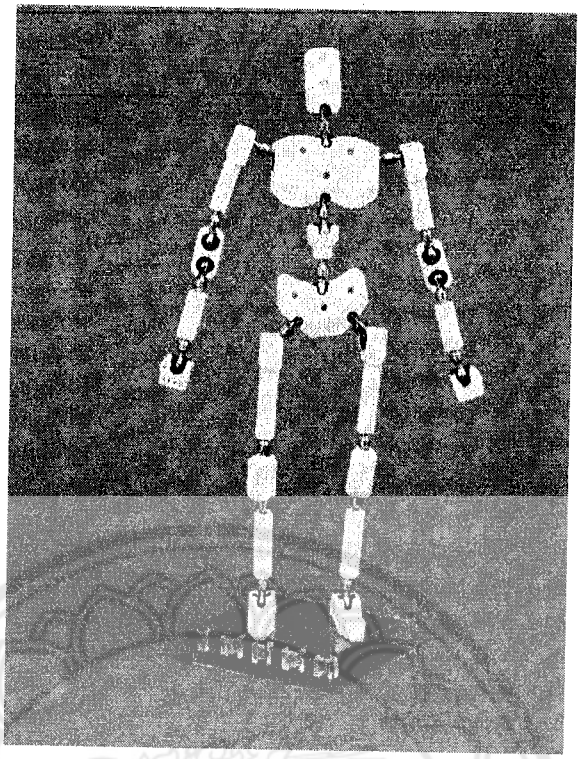
โดยทำการออกแบบ และพัฒนาหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่น ตามรูปแบบที่ทำการวิเคราะห์ศึกษาขึ้นมาเป็นลำดับขั้น โดยคณะผู้วิจัยดำเนินการออกแบบไว้ 9 รูปแบบ

และในการทดลองใช้วัสดุต่างๆกันนั้น เริ่มต้นจากใช้วัสดุพลาสติก จากแนวคิดและเหตุผลการการออกแบบที่ ต้องการจำนวนการผลิตแบบอุตสาหกรรม และเสริมด้วยวัสดุอะลูมิเนียมในชิ้นส่วนข้อต่อแบบลูกบอลเพื่อความแข็งแรง ทนต่อการเสียดสีกระทบกันของข้อต่อเพื่อทำการเคลื่อนไหว และพัฒนาต่อเนื่องในหุ่นโครงสร้างแบบต่อมา ด้วยการเสริมวัสดุพลาสติกที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น เหนียวและขยายตัวได้หมือนยาง และในรูปแบบสุดท้าย จากที่ได้เข้าปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ และที่ปรึกษางานวิจัยต่างมีความคิดเห็นที่ตรงกันคือ ควรเลือกใช้วัสดีเดียวในการผลิตหุ่นโครงสร้างฯ นั่นก็คือวัสดุพลาสติกแบบไนล่อน ตามเหตุผลที่กล่าวมาในขั้นต้น

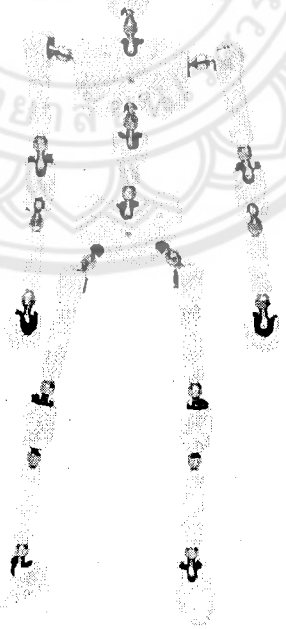
การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ในขั้นตอนการทำงานร่างภาพผลงาน Sketch Design นั้น ทางคณะผู้วิจัยนำรูปแบบของโครงสร้างกระดูก และกายวิภาคมนุษย์เข้ามาเป็นแนวทางการร่างแบบ และพัฒนาให้มีความใกล้เคียงทั้งในเรื่องรูปทรง สัดส่วน หน้าที่การใช้งานและวิธีการขยับเคลื่อนไหวต่างๆ ของชิ้นส่วนบริเวณข้อต่อชิ้นส่วนของกระดูกหลักๆในโครงสร้างร่างกายมนุษย์และสัตว์สองเท้าอื่นๆ ทำให้ผลงานการออกแบบมีลักษณะใกล้เคียงกับหุ่นโครงกระดูก และหุ่นโครงสร้างที่ทำการศึกษาขึ้นมา แต่ได้เพิ่มแนวความคิดแนวทางในเรื่องของการที่อยากให้ หุ่นโครงสร้างที่ทำการออกแบบขึ้นมาใหม่นี้ในเรื่อง สามารถที่จะดัดแปลงให้สัดส่วนมีความยืดหยุน สูงต่ำ มีขนาดตามที่ต้องการได้ ช่วงของสัดส่วนในคาร์แร็คเตอร์สามารถที่จะเพิ่มลดเองได้ เช่น ความยาวของ แขน ขา คอ หรือความยาวของลำตัว ในการออกแบบคาร์แร็คเตอร์ตัวละครสำหรับสต็อบโมชั่นนั้น เราสามารถที่จะเพิ่มจำนวนส่วนต่างๆของร่างกายได้ เช่น เพิ่มแขนให้มากกว่าสองแขน เพิ่มขา สามารถใส่ปีกให้ตัวละคร เพิ่มส่วนของหัว และหางได้ เพื่อเป็นการเพิ่มหน้าที่การใช้งาน ให้กับหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นทั้งหมดนี้ ให้เกิดความยืดหยุ่นคล่องตัวในการออกแบบและสร้างสรรค์ผลงาน คาร์แร็คเตอร์ดีไซน์ขึ้นมาใหม่ๆด้วยหุ่นโครงสร้างที่ออกแบบนี้ โดยมีผลงานการพัฒนาและออกแบบหุ่นโครงสร้างโดยทั้งหมด 9 รูปแบบจนมาถึงรูปแบบสุดท้าย



ผลงานการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น ในรูปแบบที่ 1

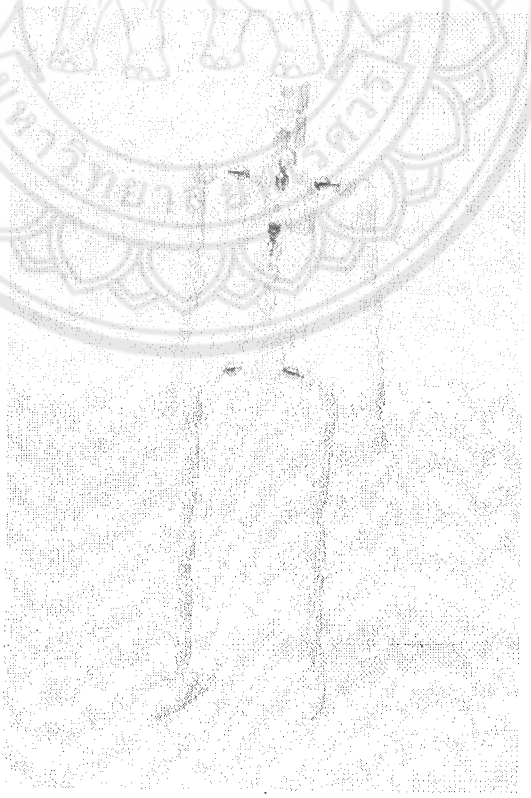


ผลงานการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น ในรูปแบบที่ 2



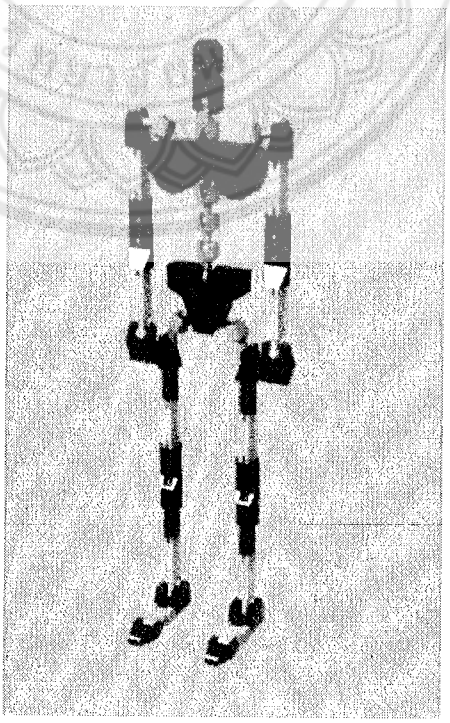
ผลงานการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น ในรูปแบบที่ 3

ผลงานการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น ในรูปแบบที่ 4

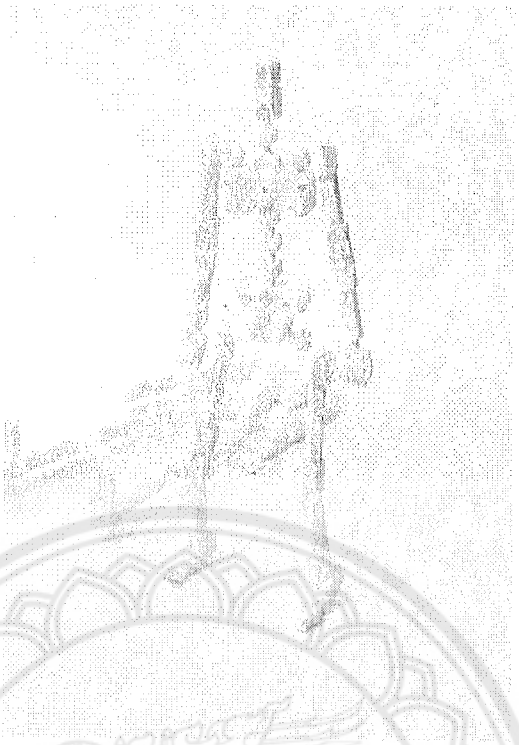


ผลงานการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น ในรูปแบบที่ 5

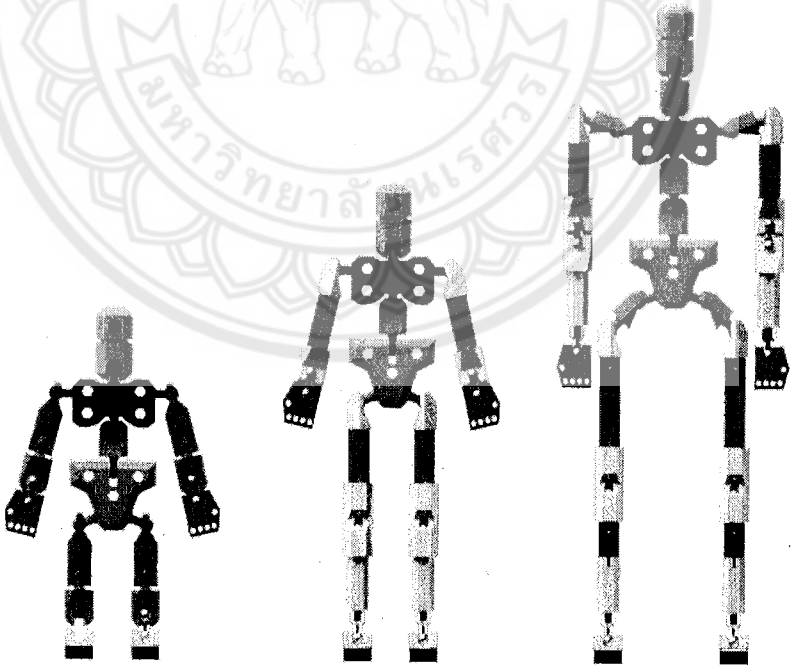
ผลงานการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น ในรูปแบบที่ 6



ผลงานการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น ในรูปแบบที่ 7

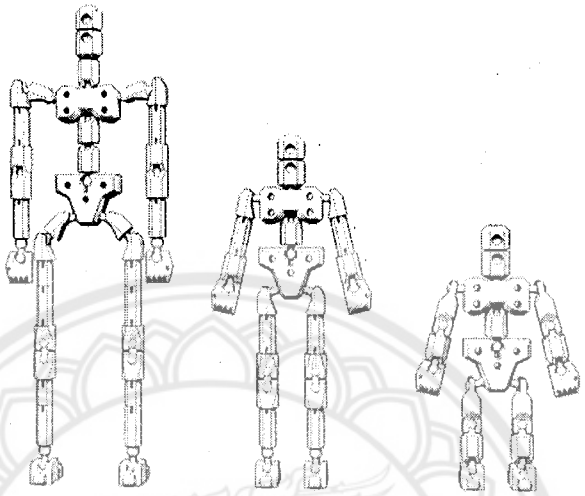


ผลงานการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น ในรูปแบบที่ 8

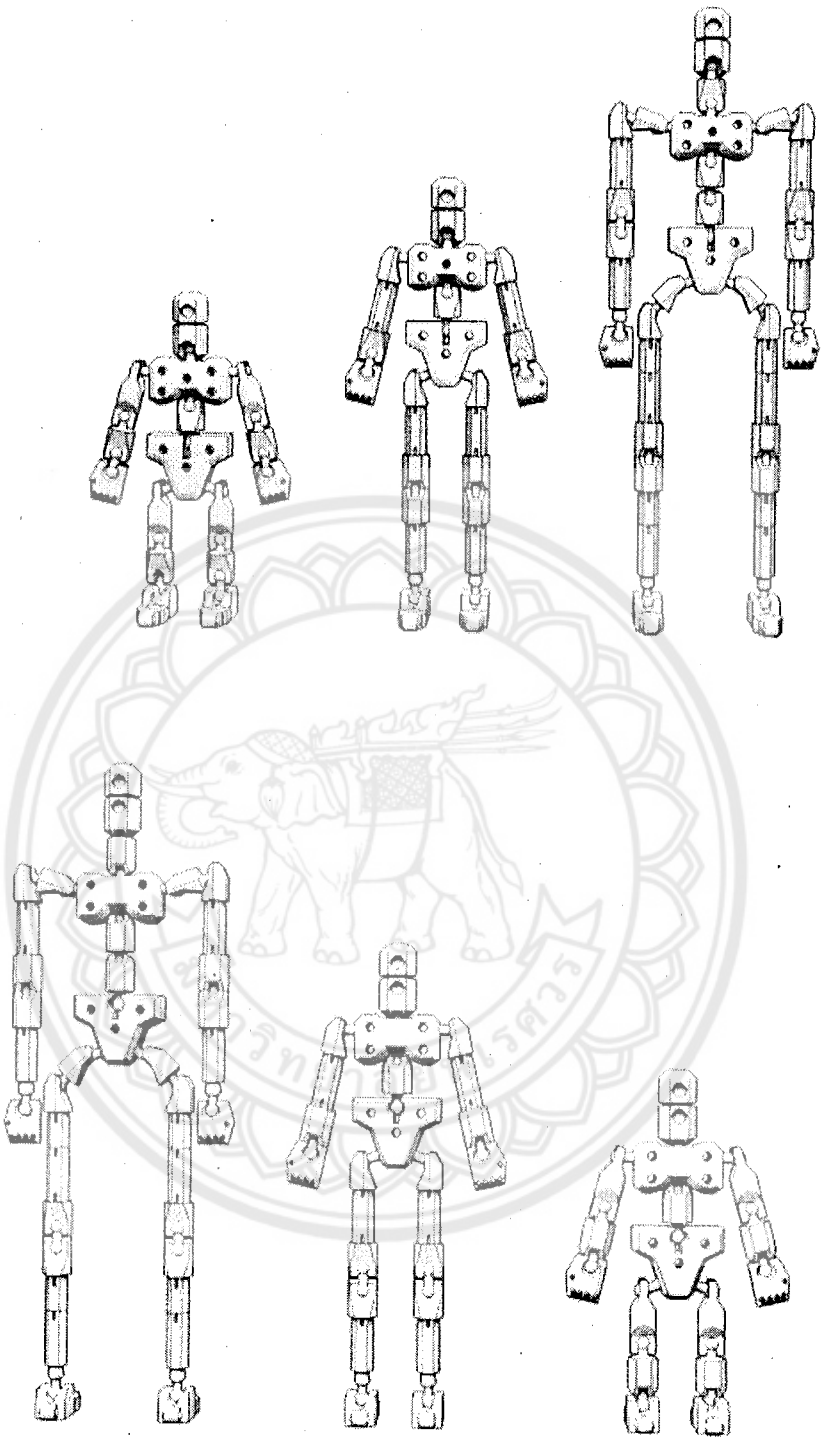


ผลงานการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่นสามมิติ ในรูปแบบที่ 9

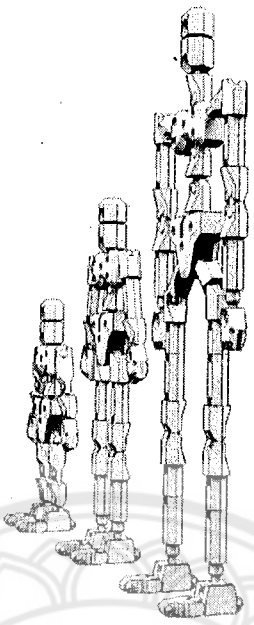
ผลงานการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นในแบบสุดท้าย
ชิ้นส่วนสำคัญที่ทำการพัฒนาออกแบบขึ้น ทำให้มีการปรับเปลี่ยนดัดแปลงคาร์แร็คเตอร์ตามที่จะออกแบบได้อย่างสะดวกง่าย เพราะมีชิ้นส่วนข้อต่อที่ดัดแปลงความสูง เพิ่มชิ้นส่วนอวัยวะได้



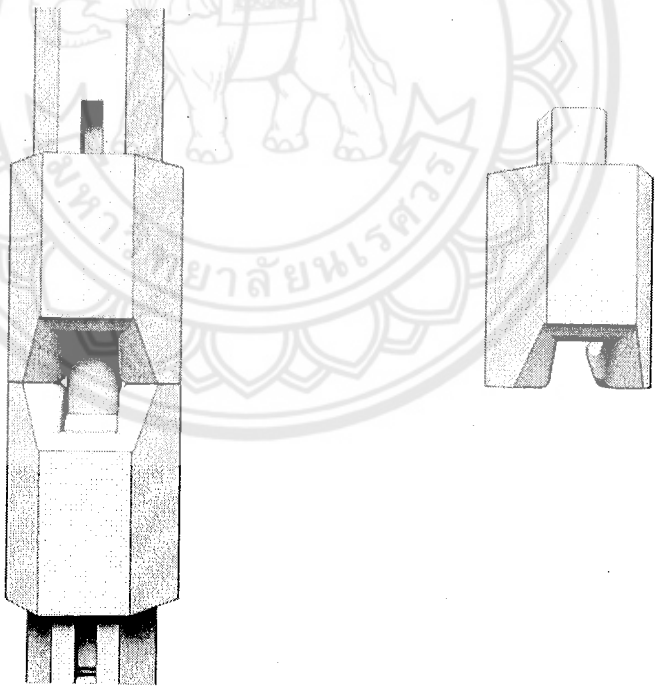
ผลงานการออกแบบรูปแบบสามมิติ และตอนทำการปรินท์เป็นโครงสร้างแบบสามมิติ
ผลงานการออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น ในรูปแบบที่ 9



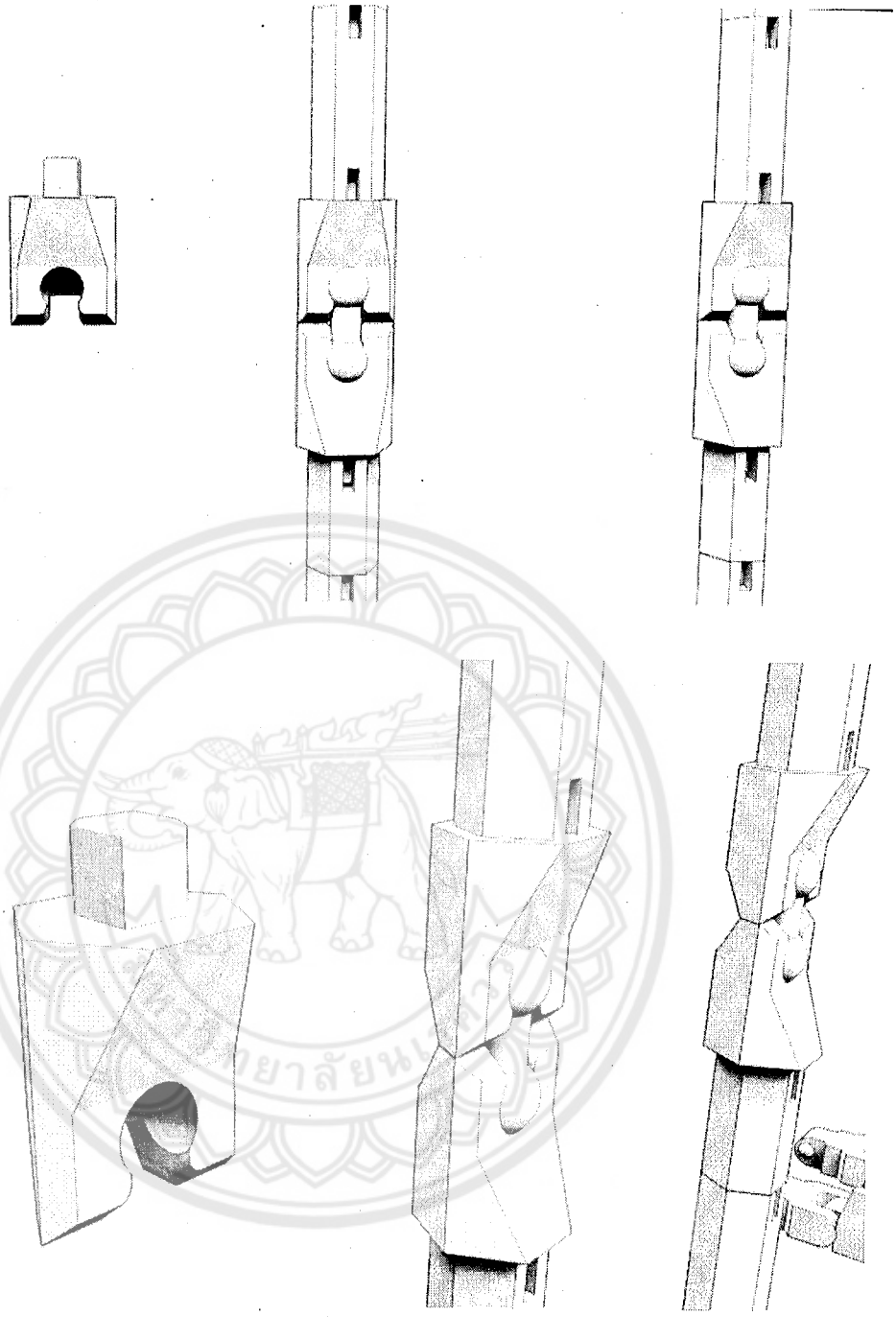
แบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion) ด้านหน้าและหลัง



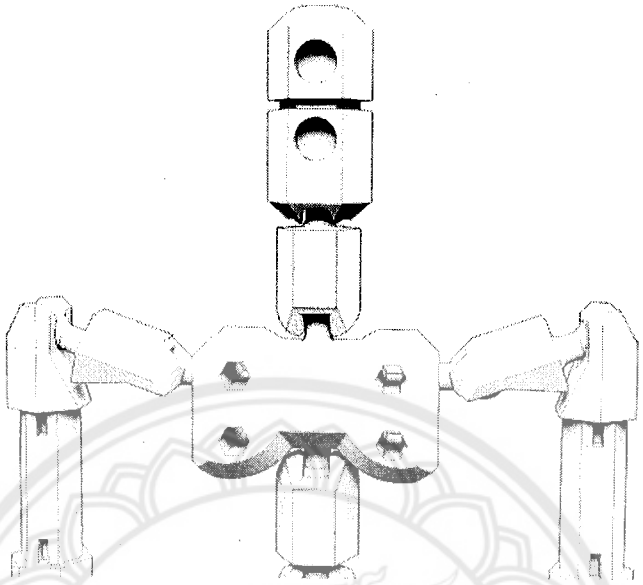
แบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion) มุมทัศนียภาพ



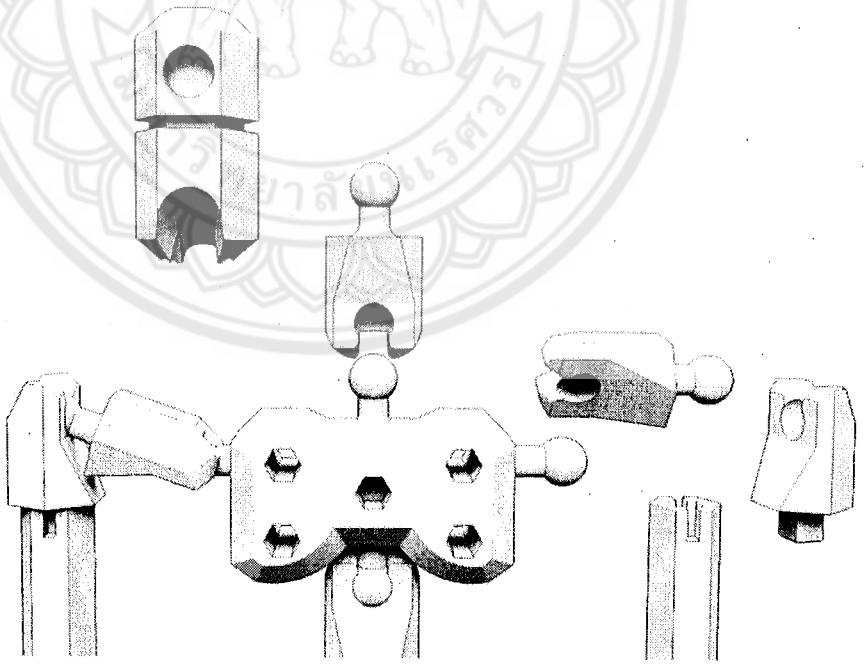
ภาพรายละเอียดชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่นส่วนข้อต่อแขนขา 1 (Armature Stop Motion)



ภาพรายละเอียดชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion)

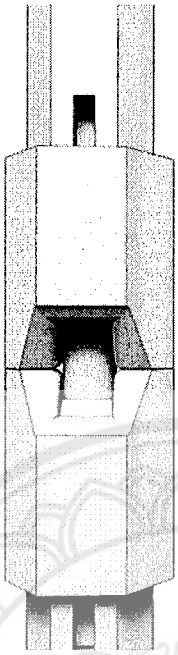


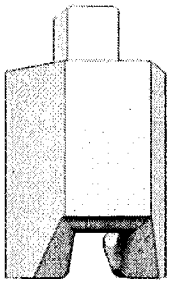
ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณหัว หน้าอก ไหล่



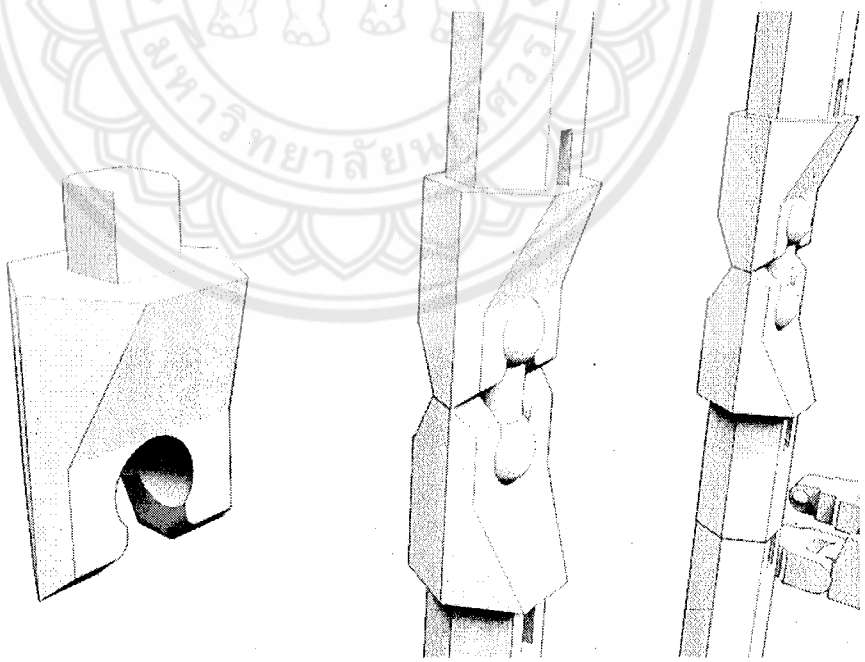
ภาพรายละเอียดชิ้นส่วนส่วนหัว ส่วนหน้าอก ส่วนไหล่ ของหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion)

แนวคิดในการออกแบบ และคุณสมบัติของชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น

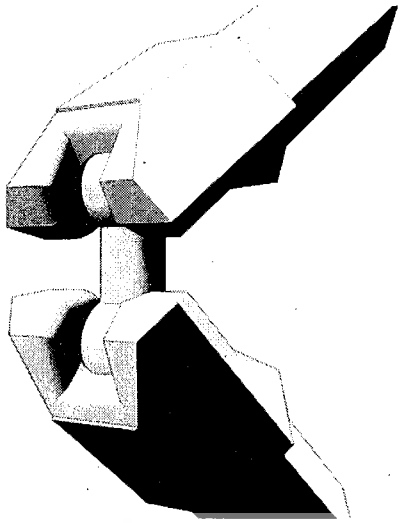




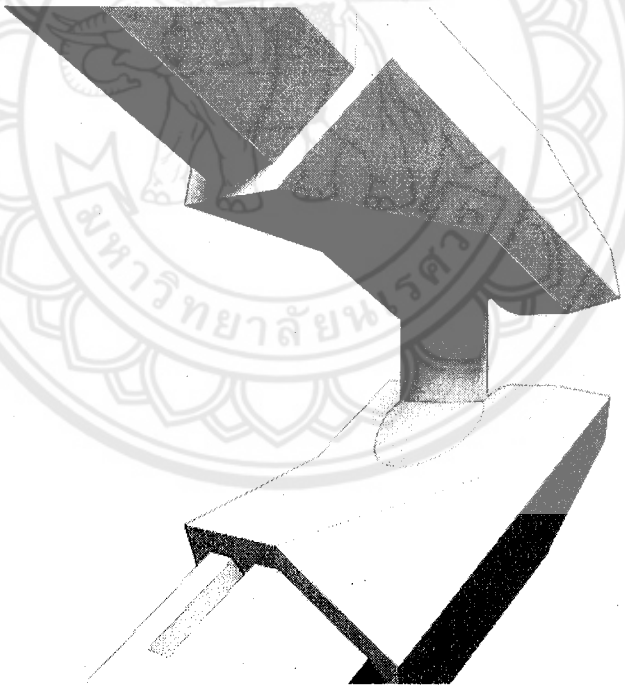
ชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างในบริเวณโครงสร้างแขนและขา ซึ่งสามารถเพิ่มเติมลดทอนปรับ**เปลี่ยนความสูง ความ**ยาวได้ตามสัดส่วนของคาร์แร็คเตอร์ได้



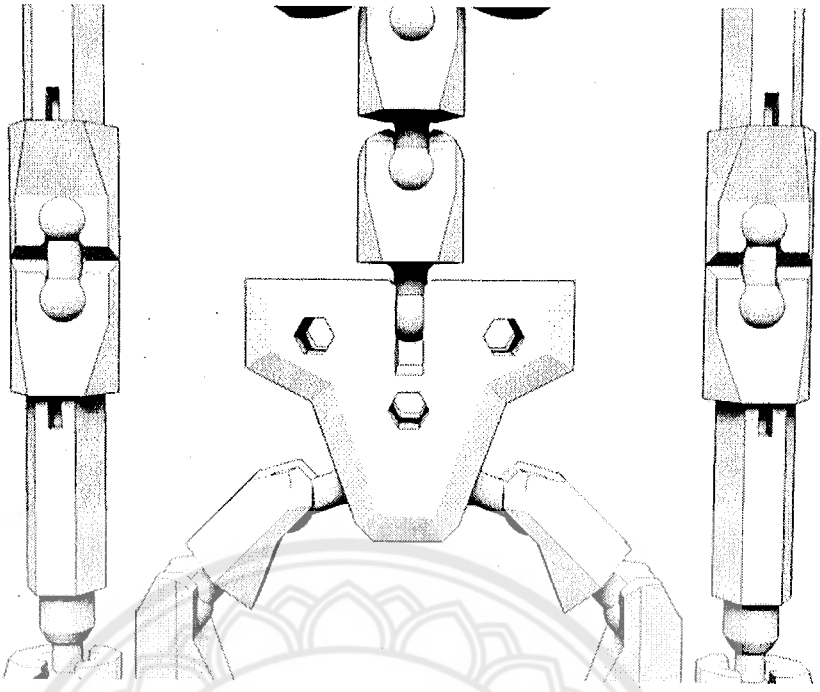
ชิ้นส่วนโครงสร้างต่อมาเป็นชิ้นส่วนข้อต่อรูประกบลูกบอล เป็นชิ้นส่วนบริเวณข้อศอกข้อพับ



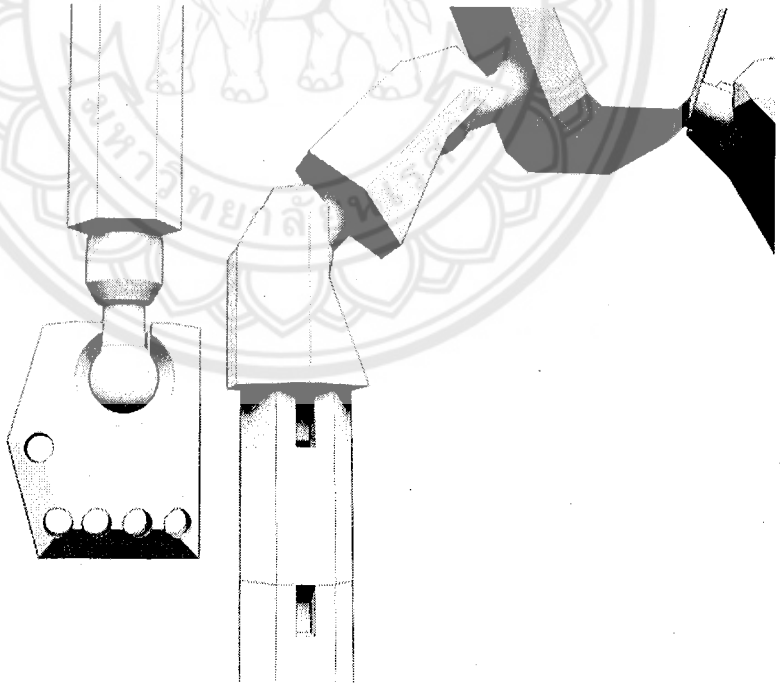
ชิ้นส่วนโครงสร้าง บริเวณข้อศอกข้อพับ



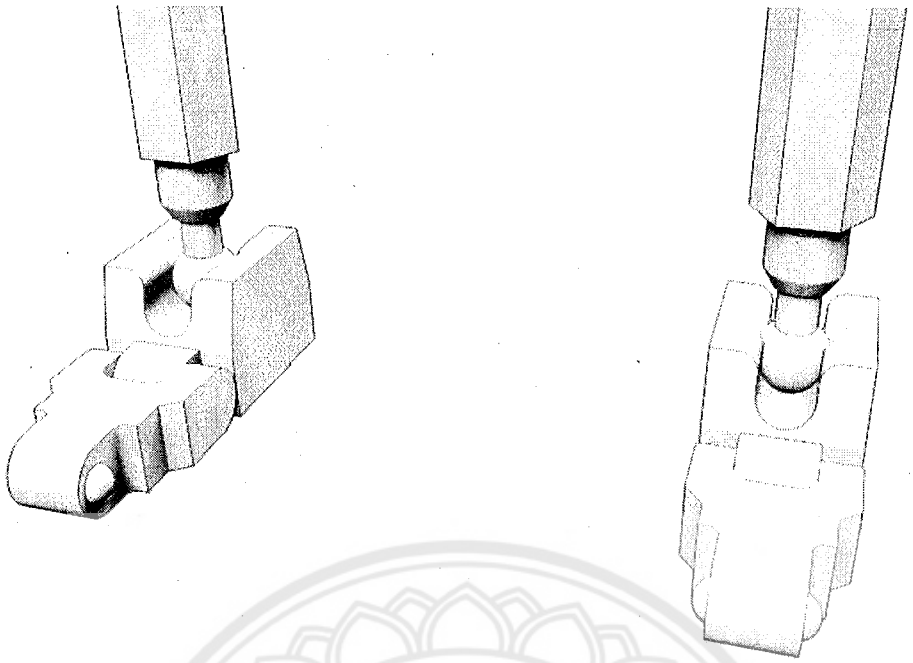
คุณสมบัติการใช้งานของชิ้นส่วนโครงสร้าง บริเวณข้อศอกข้อพับ



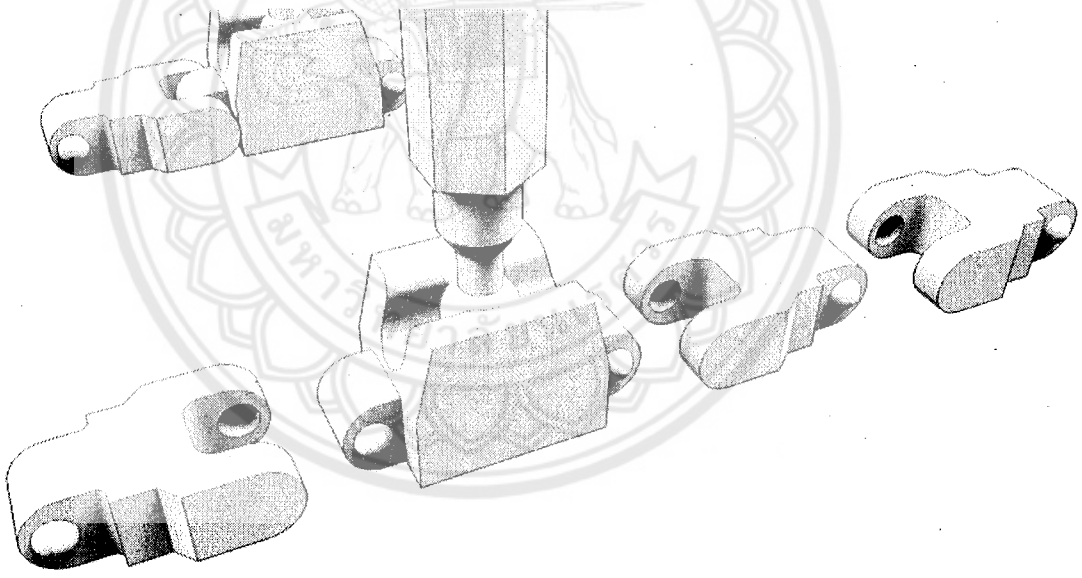
ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณสะโพก ข้อต่อบริเวณต้นขา



ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณมือ



ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณเท้า



ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณเท้า

แนวคิดในการออกแบบ และหน้าที่คุณสมบัติของชิ้นส่วนต่างๆ ของหุ่นโครงร่างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น

1. หัว ชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯบริเวณส่วนหัวนั้น สามารถปรับแต่งขนาด สัดส่วน โดยมีช่องเป็นส่วนต่อให้ทำการเพิ่มความสูงได้ แนวคิดในการออกแบบเพื่อทำให้สามารถปรับเปลี่ยนตามผลงานออกแบบตัวละครที่หลากหลายรูปแบบ

2. ข้อต่อไหล่+ข้อต่อต้นขา ชิ้นส่วนบริเวณนี้สามรถใช้ทดแทนกันได้

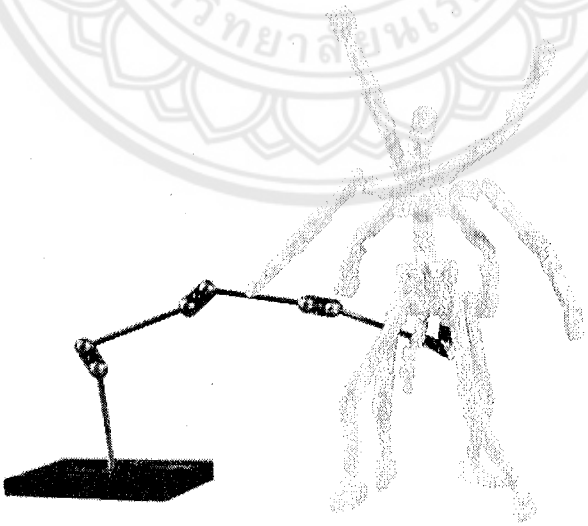
3. ข้อต่อกำหนดสัดส่วนของแขน ขา สามารถปรับเพิ่มลดสัดส่วนความยาวความสูงของตัวละครได้ตามที่นักออกแบบตัวละครกำหนดไว้

4. ชิ้นส่วนกระดูกสันหลัง ก็สามารถปรับเพิ่มลดสัดส่วนความยาวความสูงของตัวละครได้ตามที่นักออกแบบตัวละครกำหนดไว้ได้

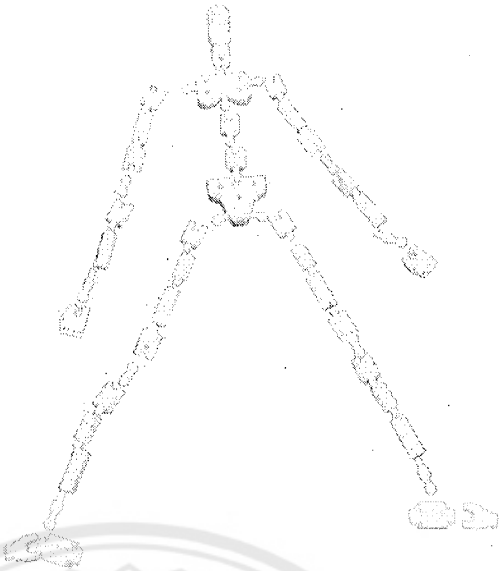
5. ชิ้นส่วนข้อต่อบริเวณข้อศอกแขน ข้อพับ และหัวเข่า ในบริเวณชิ้นส่วนที่ทำการออกแบบขึ้นมาใหม่นี้ใช้แนวคิดในการทำงานทางกายภาพ ออกแบบให้ข้อพับศอกและเข่า สามารถพับงอได้มากเป็นพิเศษ ออกแบบให้ข้อต่อที่สวมกับลูกบอล สามารถงอได้มากกว่าข้อต่อชิ้นส่วนอื่นๆ เพื่อความสมจริงในการสร้างภาพเคลื่อนไหวมากที่สุด

6. ชิ้นส่วนเท้า สามารถปรับความยาว เปลี่ยนรูปแบบความกว้างยาวของเท้าตัวละครได้เช่นกัน

การออกแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชันมีข้อเด่นคือ สามารถผลิตในระบบอุตสาหกรรม ผลิตได้จำนวนมาก เพราะกระบวนการผลิตที่แตกต่างจากวิธีการขึ้นรูปด้วยมือแบบหุ่นโครงสร้างที่ทำจากวัสดุโลหะอะลูมิเนียมทองแดง ที่ไม่สามารถดัดแปลงปรับเปลี่ยนได้มาก



ภาพผลงานการดัดแปลงหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นเป็นตัวละครที่หลากหลาย

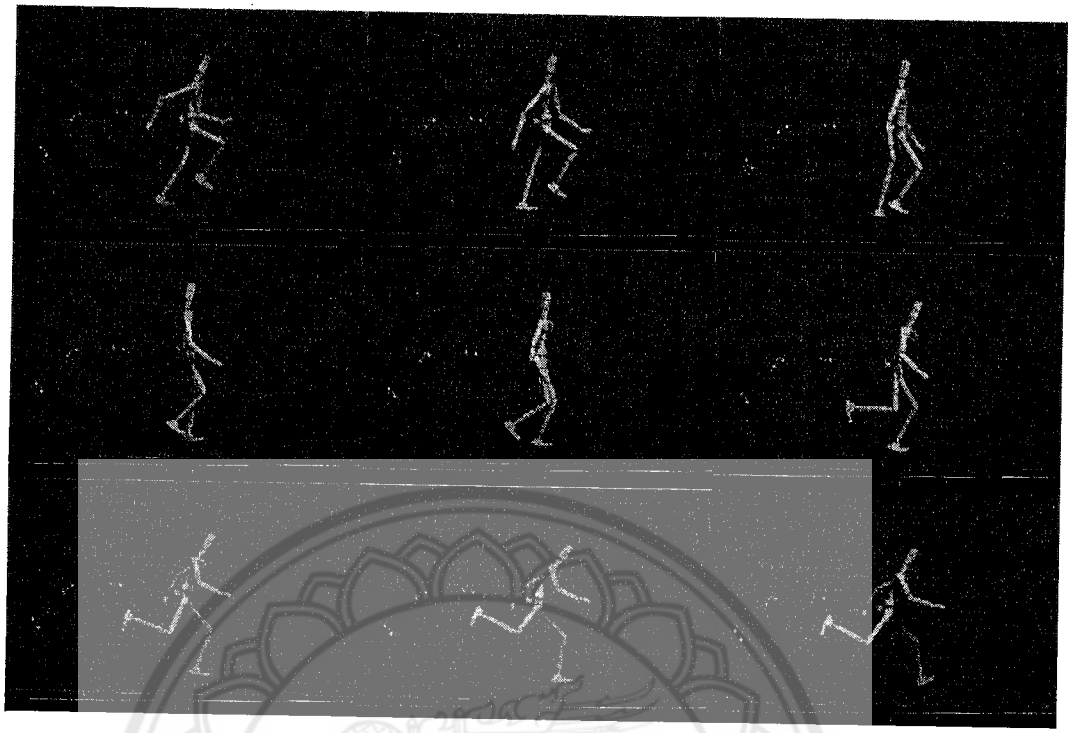


ภาพการเพิ่มสัดส่วนความสูงของแขนและขาหุ่นโครงสร้างฯ

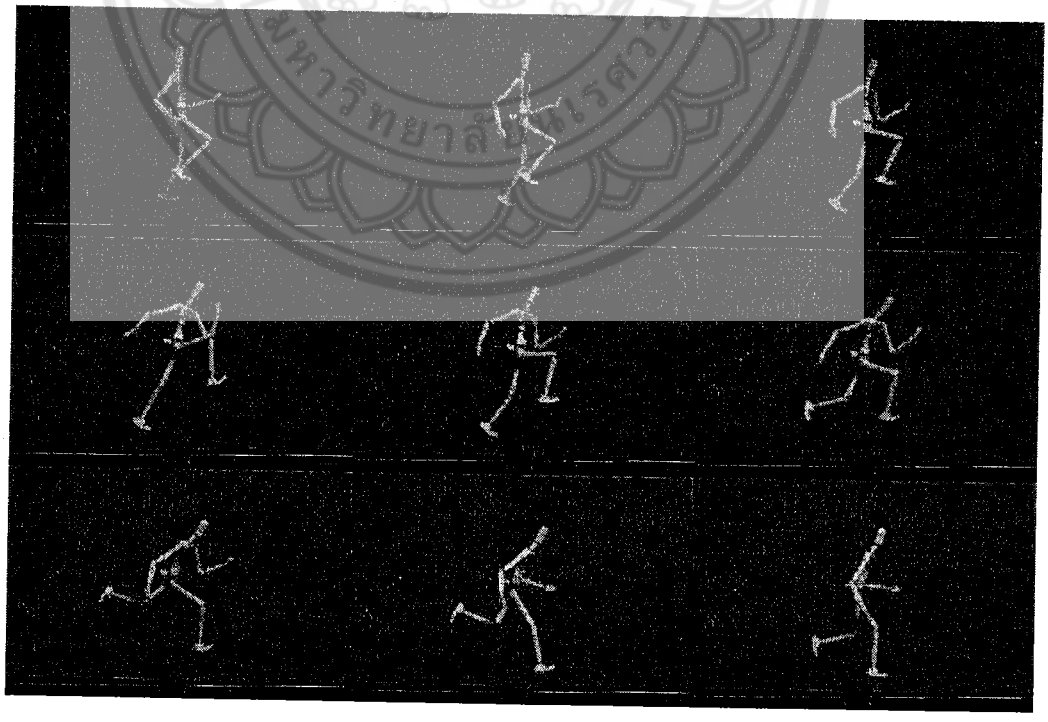
ภาพการลดสัดส่วนความสูงของแขนและขาหุ่นโครงสร้างฯ

การสร้างท่าทางและการเคลื่อนไหว (Animated)

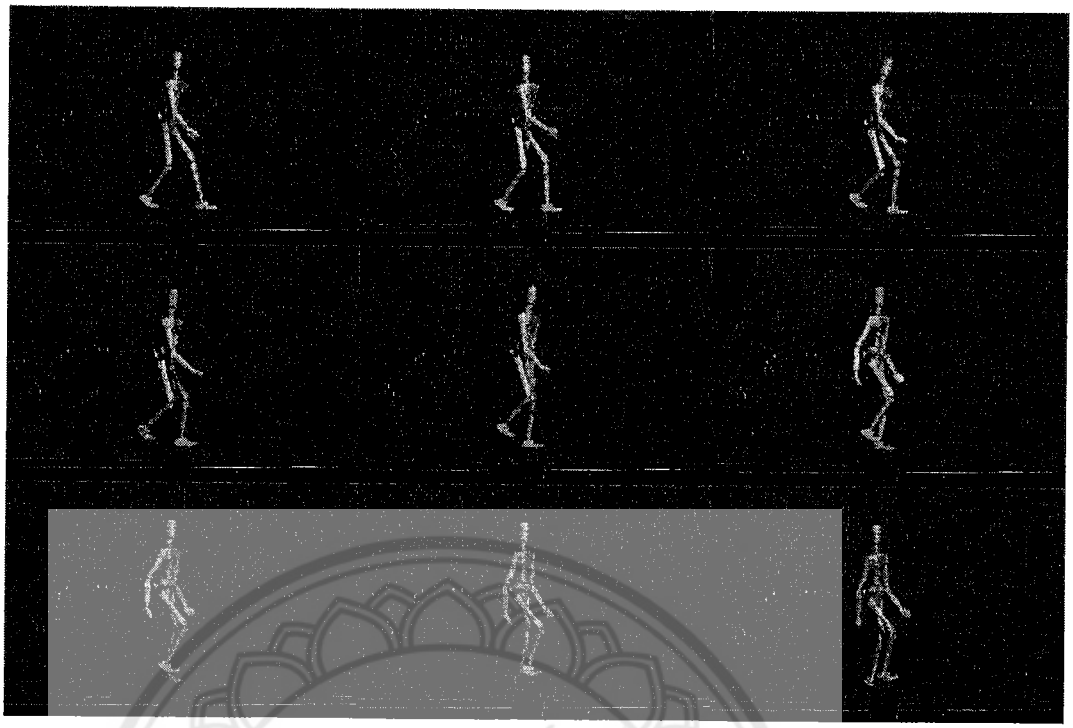
เป็นการนำเอาหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นที่ทำการพัฒนาออกแบบขึ้นมาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มาทำการกำหนดท่าทาง จัดวางการเคลื่อนทีละภาพ (เฟรม) เพื่อนำไปเรียงต่อกันโปรแกรมตัดต่อและสร้างภาพเคลื่อนไหว ทำให้ลวงสายตาว่าหุ่นโครงสร้างฯ เคลื่อนไหวได้ มีชีวิตชีวาตามการออกแบบคาร์แรคเตอร์ที่ออกแบบตัวละครให้แสดงอารมณ์ ท่าทาง การเคลื่อนไหวอิริยาบทต่างๆได้ ในการทดลองสร้างการเคลื่อนไหวในครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการกำหนดการเคลื่อนไหวด้วยท่าทางพื้นฐาน เช่น การเดิน การวิ่ง ด้วยหุ่นโครงสร้างสัดส่วนที่แตกต่างกัน เช่นหุ่นโครงสร้างสัดส่วนผู้ชาย ผู้หญิงและเด็ก ตามภาพอิริยาบทและท่าทางตามภาพดังต่อไปนี้



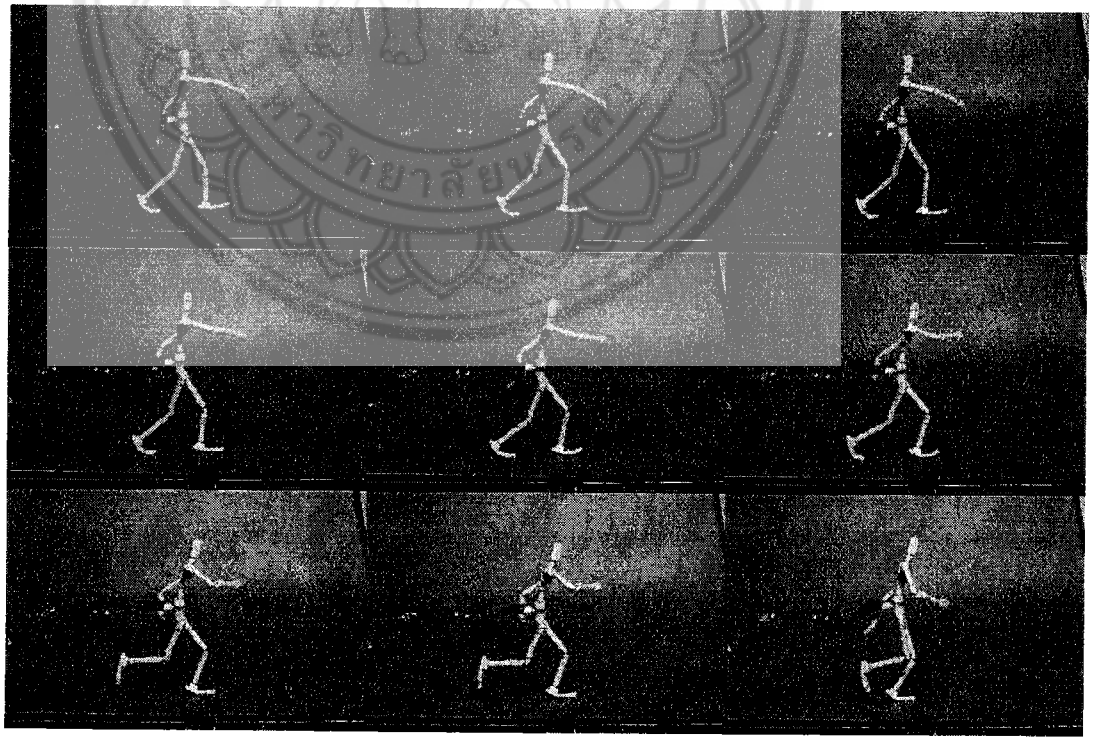
ภาพหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่นในอิริยาบถเดิน (Walk Cycle)



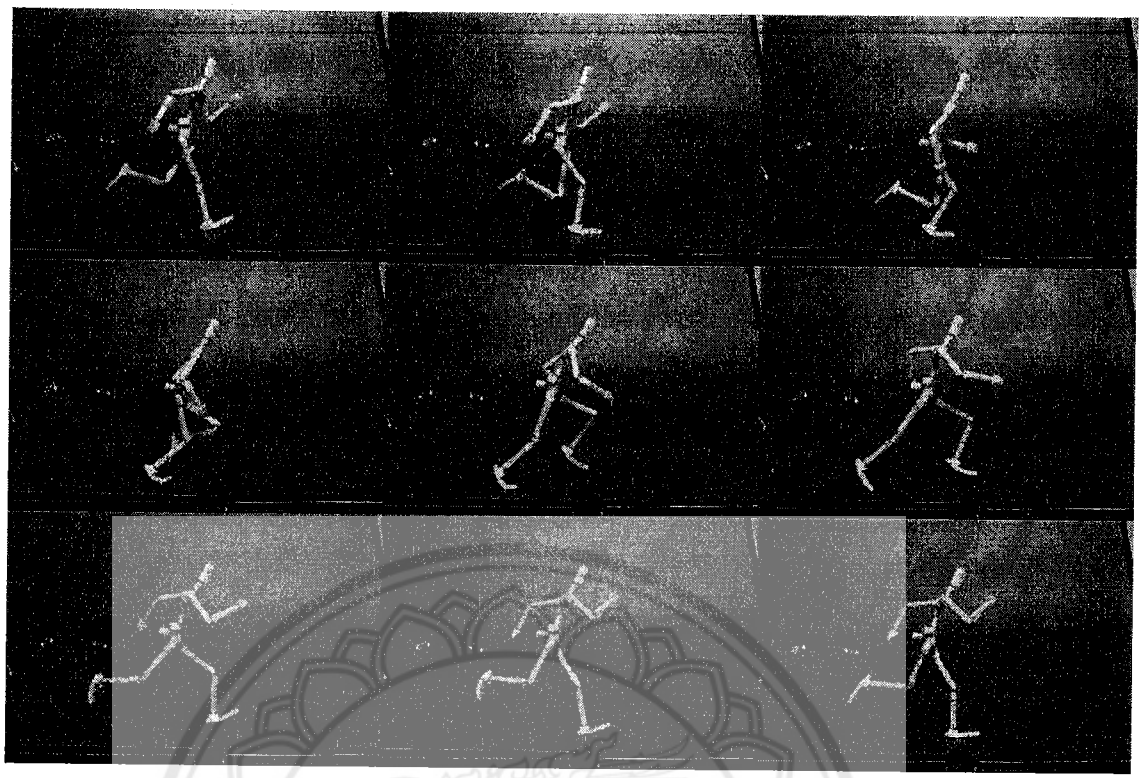
ภาพหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่นในอิริยาบถวิ่ง (Run Cycle)



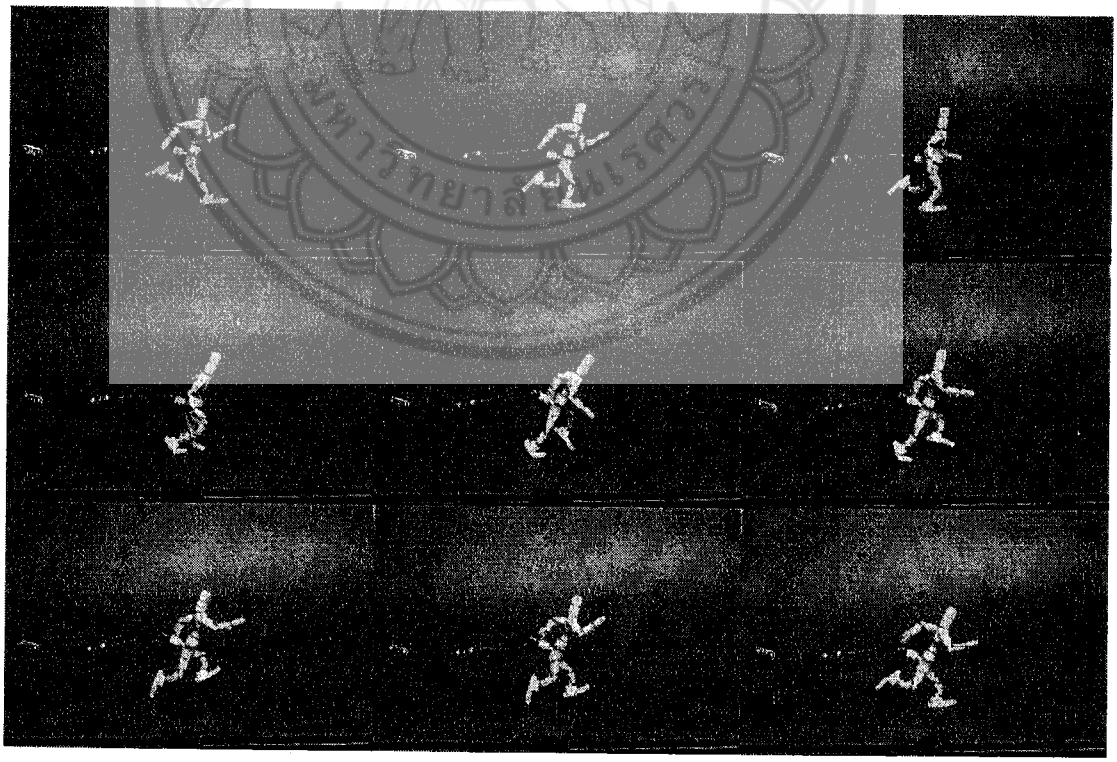
ภาพหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่นในอิริยาบถเดิน (Walk Cycle)



ภาพหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่นในอิริยาบถเดิน (Walk Cycle)



ภาพหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่นในอิริยาบถวิ่ง (Run Cycle)



ภาพหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่นเด็กในอิริยาบถวิ่ง (Run Cycle)

สรุปผลการประเมินความพึงพอใจต่อหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น

จากผลงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรม มีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ร้อยละอยู่ 3.5225 ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานอยู่ที่ (S.D.) 0.43825 ผลการประเมินรวมอยู่ในระดับเหมาะสมปานกลาง เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่ามีความพึงพอใจในแต่ละด้านอยู่ในระดับปานกลางในทุกด้าน โดยได้นำไปให้กลุ่มนักวิชาการ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบภาพเคลื่อนไหว ในบริษัทชั้นนำของประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับผลงานด้านแอนิเมชั่นในจำนวน 4 บริษัท และนักออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน และที่ปรึกษา 1 ท่าน

1. คุณอนุศาสตร์ ทรัพย์เจริญชัย ตำแหน่ง Supervisor Layout/Previs บริษัท Riff studio
2. คุณบันลือ กุณรักษ์ นักวิชาการช่างศิลป์ กรมศิลปากร และเจ้าของ Fanpage Thai Stop motion
3. คุณดิษพงศ์ วงศ์อร่าม เจ้าของ บริษัท Dog film studio
4. คุณธวัชพงศ์ ตั้งสัจจะพจน์ ผู้กำกับแอนิเมชั่นอิสระ
5. คุณธีรชัย ศุภเมธีกูลวัฒน์ ประธานบริหารบริษัท Qualy
6. คุณศุภพงศ์ สอนสังข์ ที่ปรึกษาด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ ศูนย์ส่งเสริมการส่งออกกระทรวงพานิชย์ กรรมการบริหารบริษัทเจิดดีไซน์ และ Hat Design (ที่ปรึกษาโครงการวิจัย)

และข้อเสนอแนะ ความคิดเห็นข้ออื่นๆได้แก่

1. ช่วงหัวไหล่มีความนูนมากไป อาจจะหุ้มดินน้ำมันแล้วฉีกขาดได้ควรใส่ texture ในพื้นผิวเพื่อให้ยึดติดดินน้ำมันได้ดี
2. น่าจะนำมาใช้งานการทำเป็นภาพยนตร์สั้นและเผยแพร่ รวมถึงให้เห็นเบื้องหลังการสร้างที่ใช้ Armature รูปแบบที่สร้างขึ้นเอง
3. ควรนำมาปรับใช้กับวัสดุหลากหลายชนิดเช่นดินน้ำมัน ซิลิโคน ฯลฯ

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาต้นแบบหุ่นโครงสร้างสต็อปโมชั่นแอนิเมชั่นเพื่อผลิตในระบบอุตสาหกรรมในครั้งนี้ มีข้อกำหนดวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนในส่วนของการออกแบบเรื่อง การสร้างผลิตภัณฑ์หุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนเมชั่นที่มีสามารถทำการผลิตในจำนวนมากได้ เหมาะสมกับการผลิตในรูปแบบอุตสาหกรรมทั้งเรื่องการออกแบบรูปร่างรูปทรง และวัสดุที่นำมาใช้สำหรับการผลิตในระบบอุตสาหกรรม และส่วนที่แตกต่างจากการออกแบบหุ่นโครงสร้างทั่วไปที่มีอยู่ในท้องตลาดและในระบบอุตสาหกรรมคือ หุ่นโครงสร้างฯนี้ สามารถที่จะดัดแปลงเพิ่มลดสัดส่วนความสูงต่ำ เพิ่มส่วนต่างๆเช่น แขน ขา หาง ปีก และหน้าที่การใช้งานส่วนต่างๆที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสมตามรูปร่างรูปทรงสัดส่วนของการออกแบบตัวละครได้อย่างอิสระ

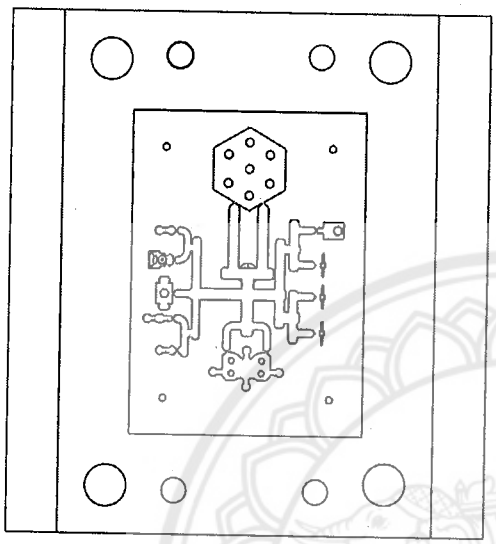
ผลงานที่จะทดลองเผยแพร่จะนำไปใช้ทำงานในระบบงานอุตสาหกรรมดิจิตอลคอนเท็นต์ไทย โดยศึกษาและพัฒนาเทคนิค แล้วนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับงานภาพยนตร์แอนิเมชั่นสต็อบโมชั่น ซึ่งเป็นอีกเทคนิคและอีกเครื่องมือหนึ่ง ซึ่งเป็นทางเลือกที่สามารถนำไปสู่การผลิตในแบบอุตสาหกรรม สำหรับรองรับงานอุตสาหกรรมแอนเมชั่นที่เจริญเติบโตและก้าวหน้าขึ้นในประเทศไทย มีผลการประเมินจากที่ปรึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิอยู่ที่ระดับปานกลางเกือบสูง มีผลการเสนอแนะ และคำแนะนำเพิ่มเติมดังที่กล่าวมาขั้นต้น

ในขั้นตอนสุดท้ายได้ทำการเขียนแบบอุตสาหกรรมแบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชันแอนิเมชัน และแม่พิมพ์หุ่นโครงสร้างฯ เพื่อผลิตตัวหุ่นให้ได้ในจำนวนมาก และได้ทำการยื่นเรื่องจดสิทธิบัตรหุ่นโครงสร้างและแม่พิมพ์หุ่นโครงสร้างฯไว้เพื่อเป็นผลงานวิจัยและนวัตกรรมแล้ว

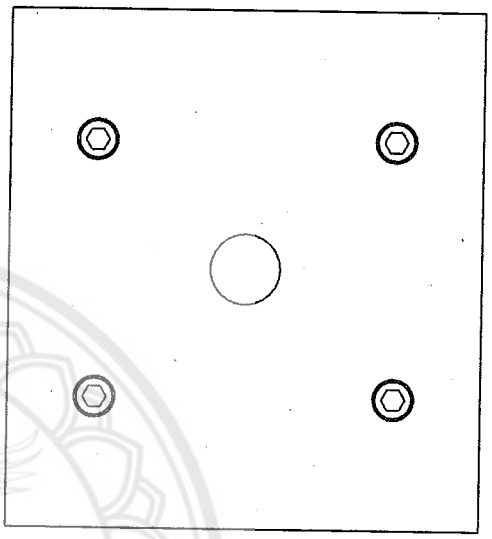
ภาคผนวก

การออกแบบแม่พิมพ์สำหรับผลิตหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นในระบบอุตสาหกรรม โดยการผลิตแม่พิมพ์แบบฉีด (Injection Molding) โดยเลือกวัสดุที่นำมาใช้คือพลาสติกแบบ ไนล่อน

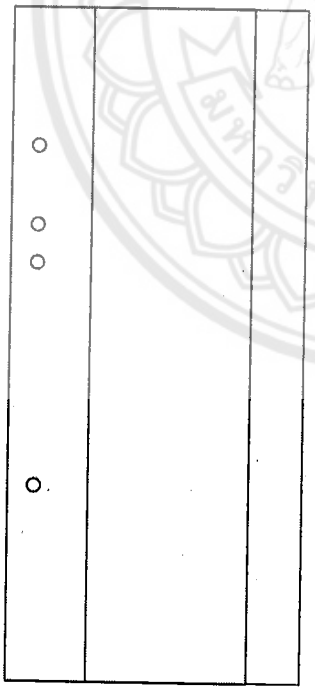
<u>แบบภาคตัดขวางแม่พิมพ์ในระดับอุตสาหกรรมแบบที่1</u>



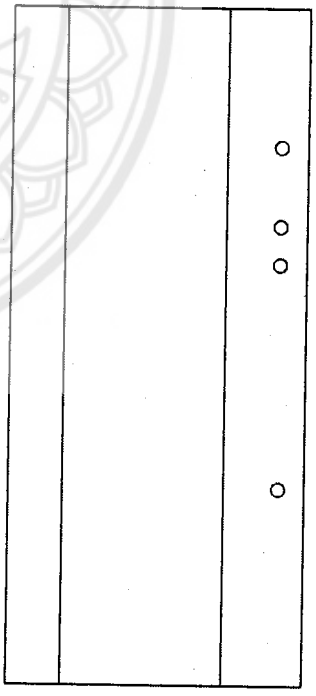
ด้านหน้า



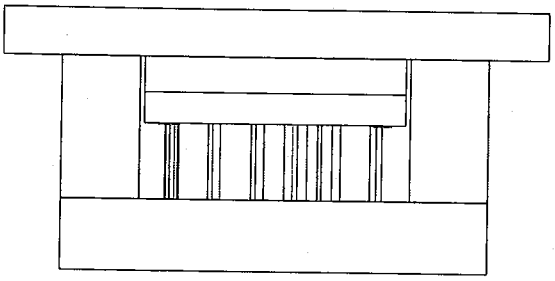
ด้านหลัง



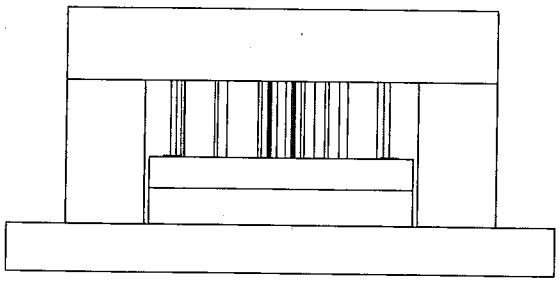
ด้านขวา



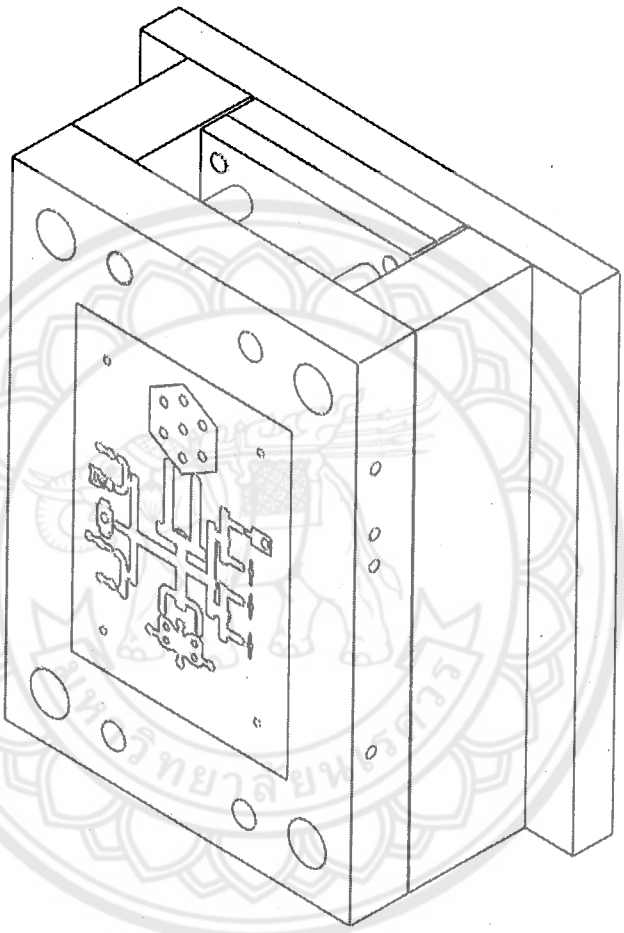
ด้านซ้าย



ด้านบน

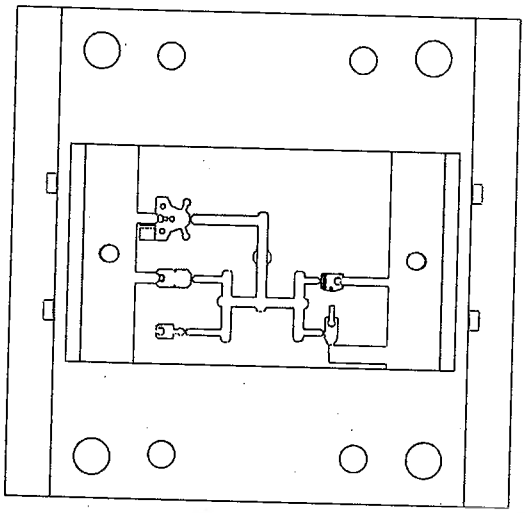


ด้านล่าง

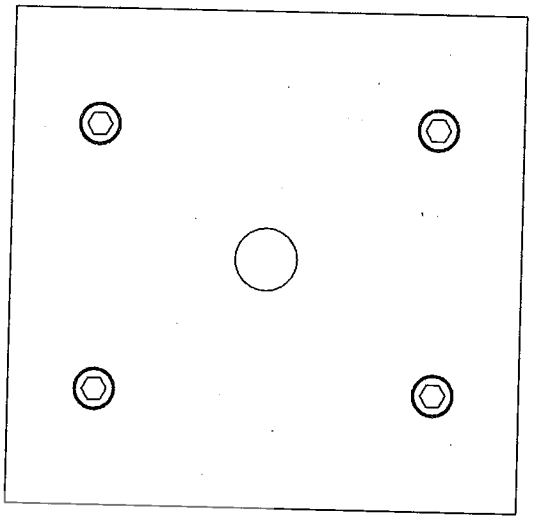


ทัศนียภาพ

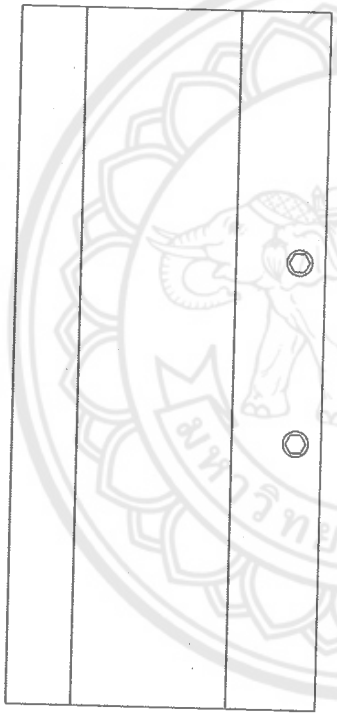
แบบภาคตัดขวางแม่พิมพ์ในระดับอุตสาหกรรมแบบที่2



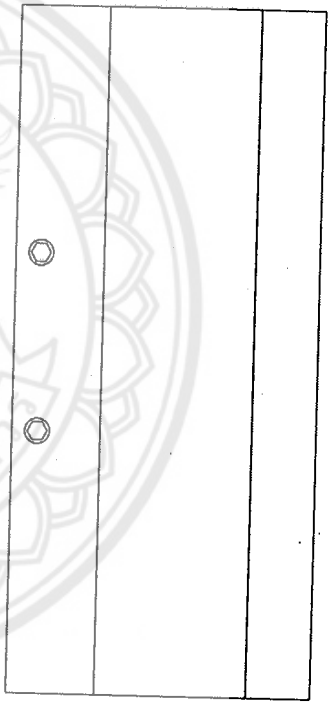
ด้านหน้า



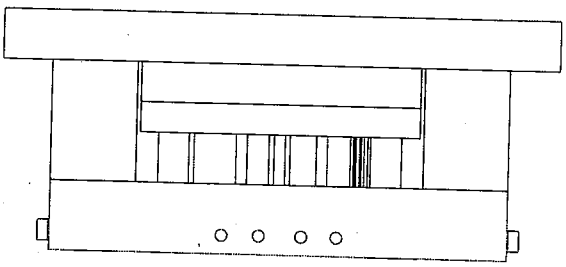
ด้านหลัง



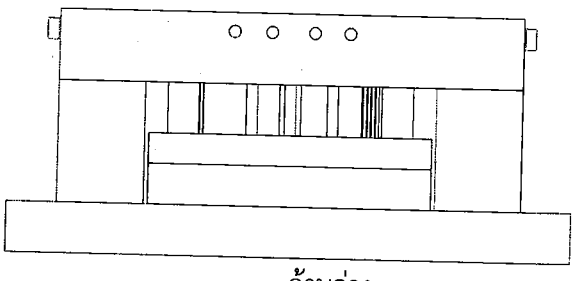
ด้านขวา



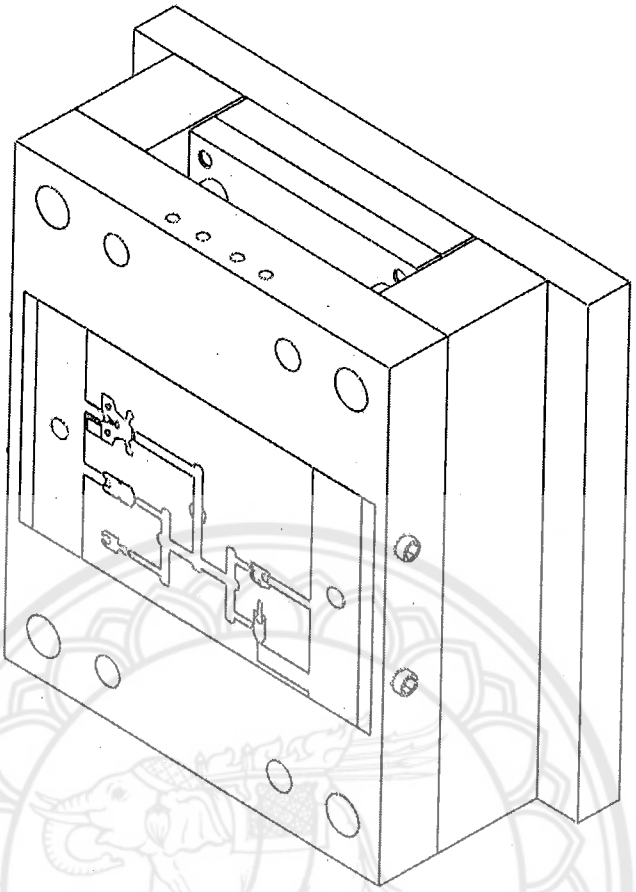
ด้านซ้าย



ด้านบน

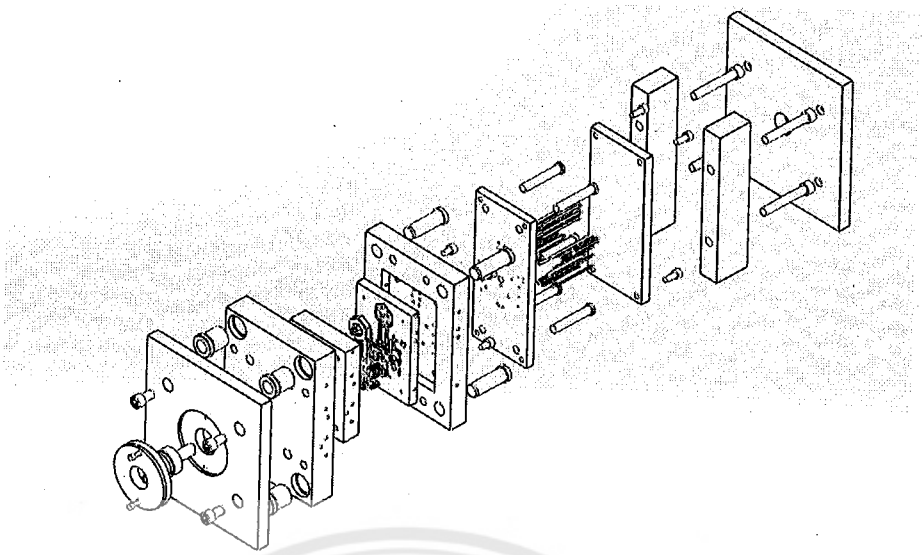


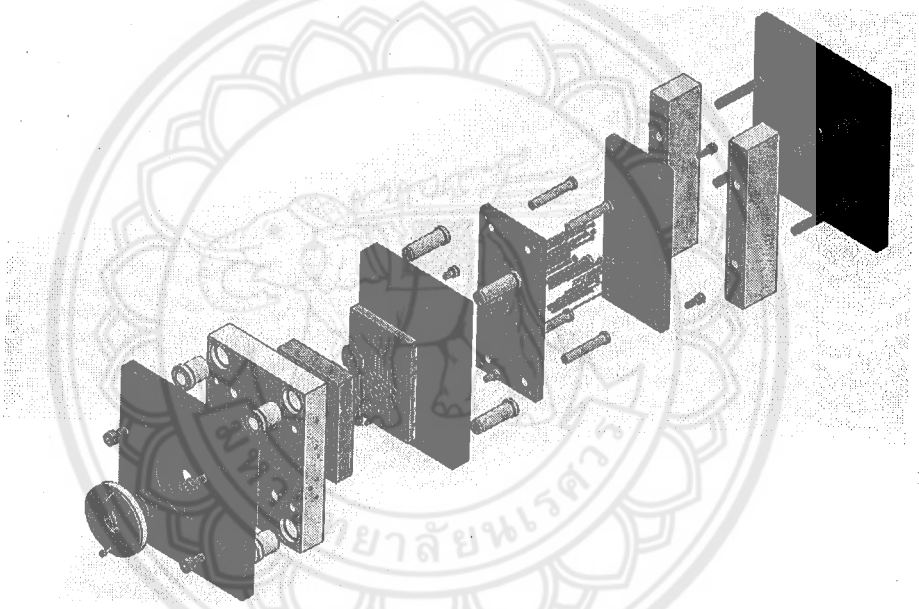
ด้านล่าง



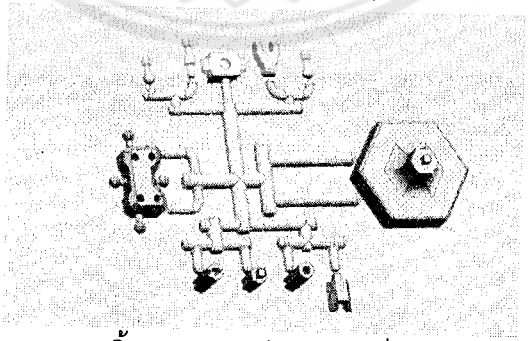
ทัศนียภาพ

แบบแม่พิมพ์แสดงการประกอบสามมิติ แบบที่1



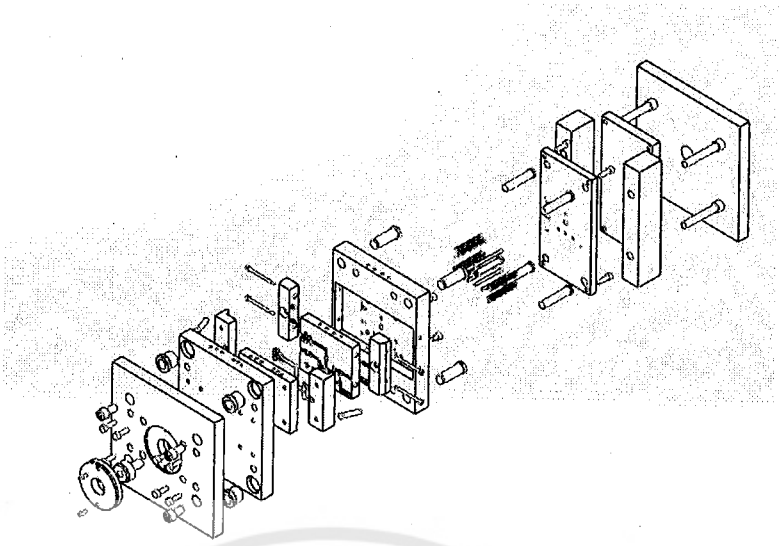


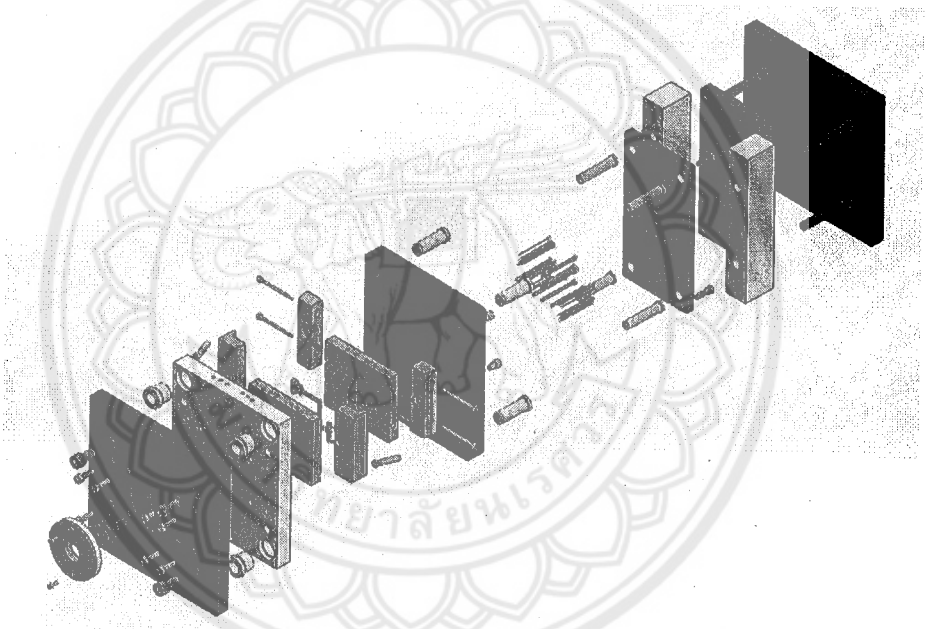
ภาพการประกอบแม่พิมพ์พลาสติกระดับอุตสาหกรรมแบบที่ 1



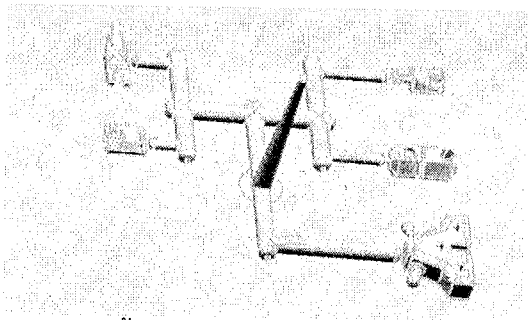
ชิ้นงานจากการใช้แม่พิมพ์ที่1

แบบแม่พิมพ์แสดงการประกอบสามมิติ แบบที่2

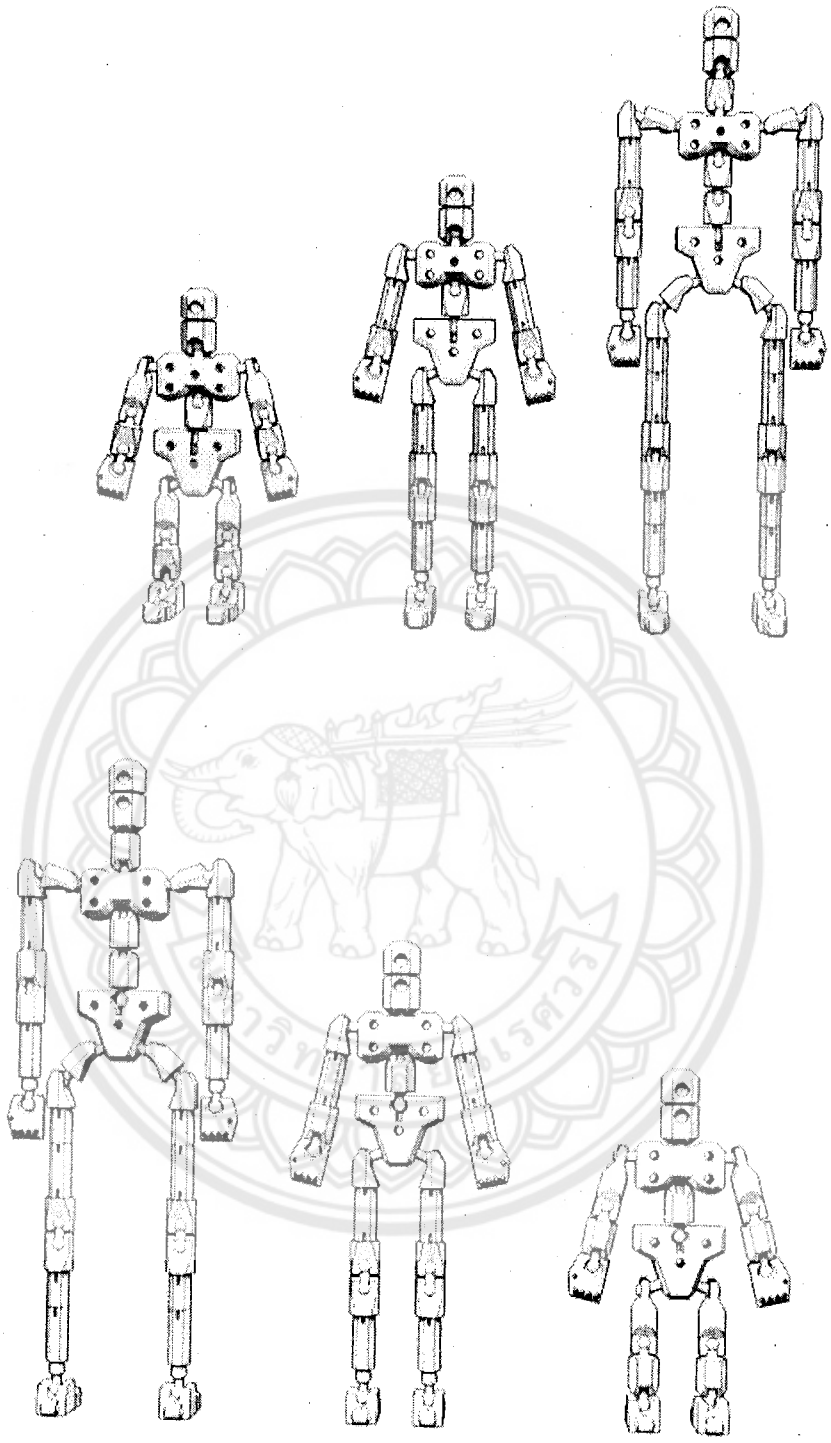




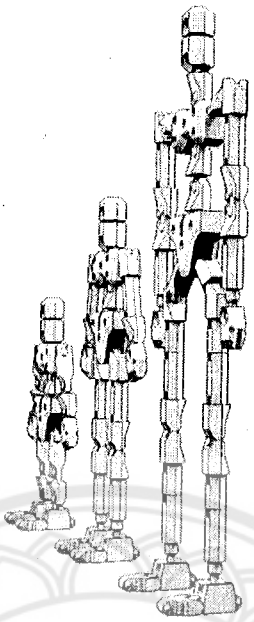
ภาพการประกอบแม่พิมพ์พลาสติกระดับอุตสาหกรรมแบบที่ 2



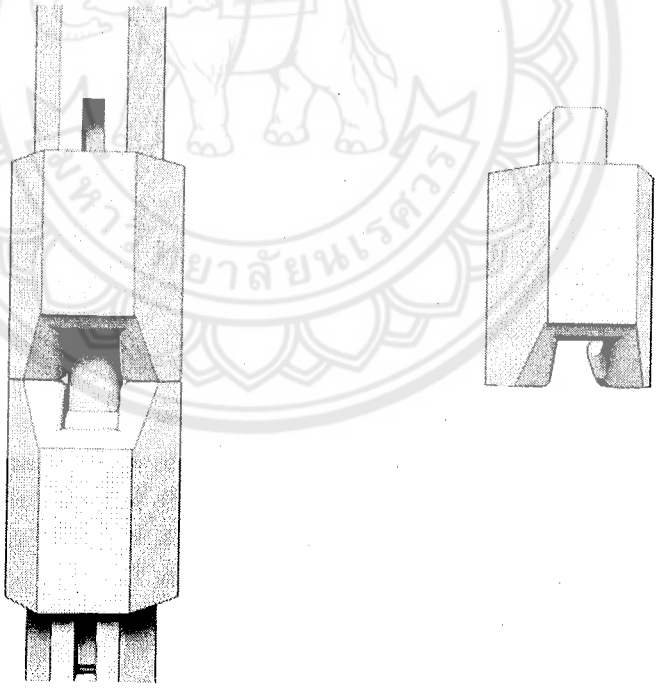
ชิ้นงานจากการใช้แม่พิมพ์ที่2



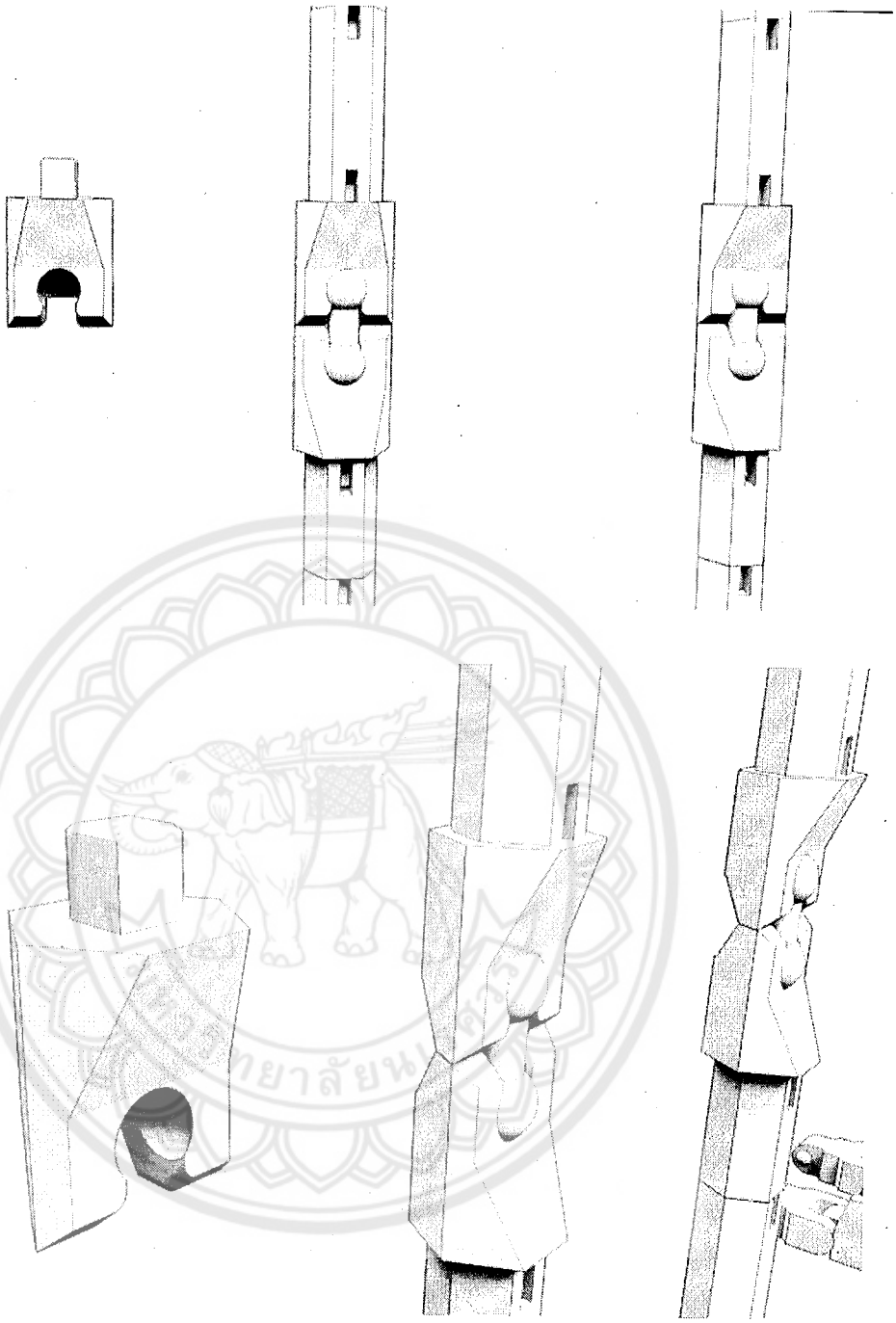
แบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion) ด้านหน้าและหลัง



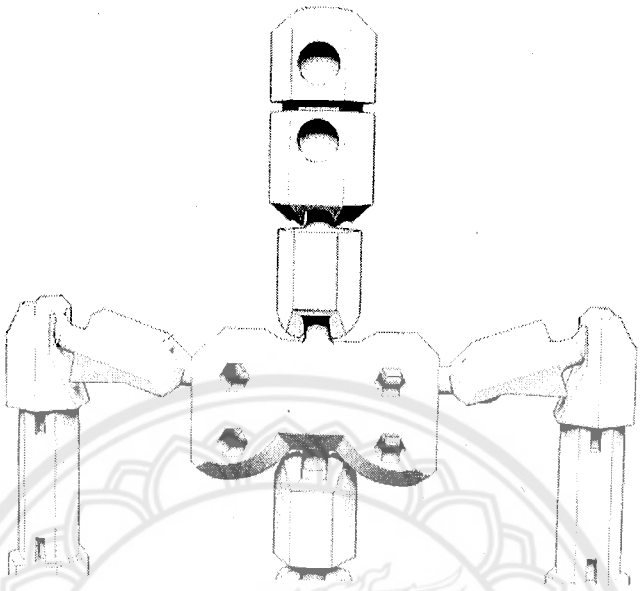
แบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion) มุมทัศนียภาพ



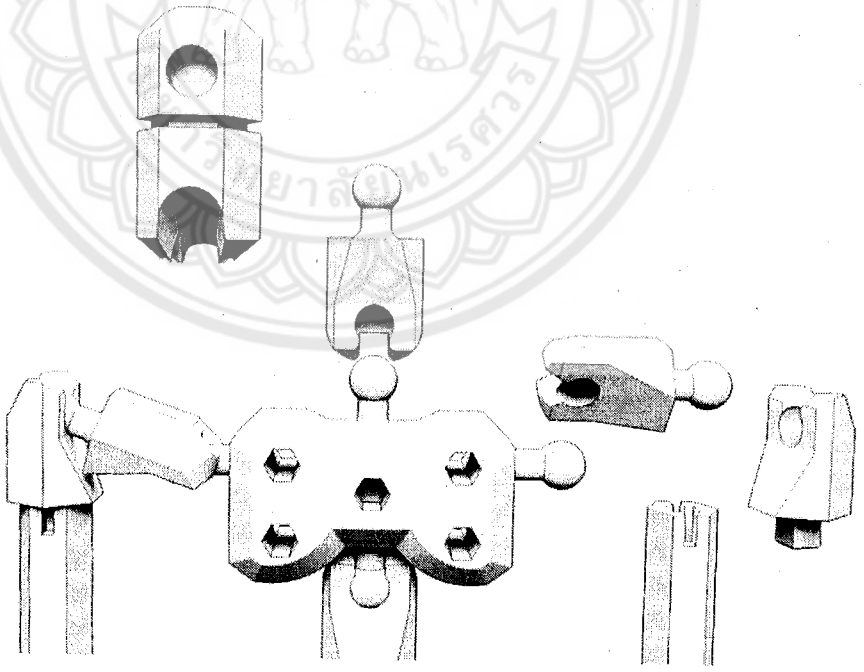
ภาพรายละเอียดชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion)



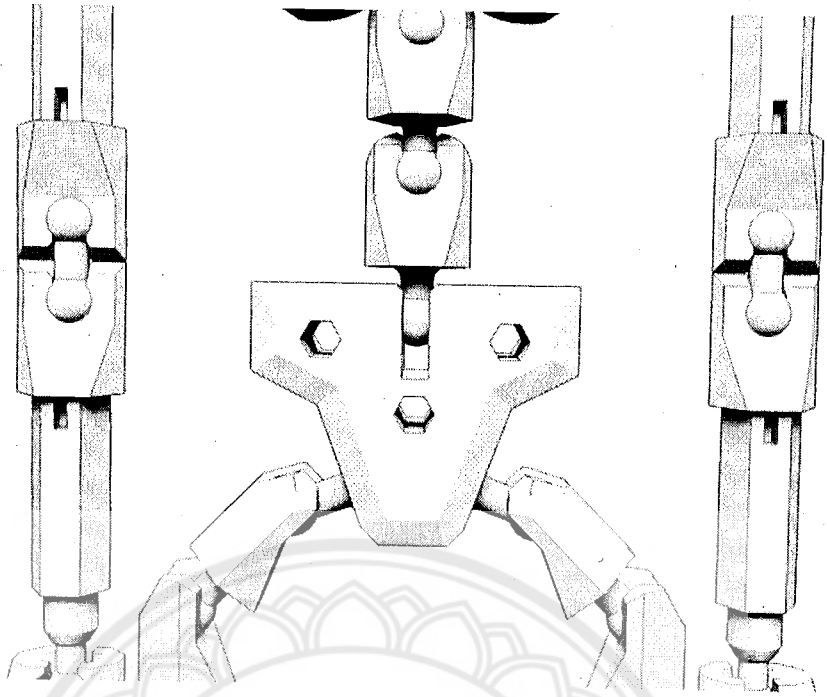
ภาพรายละเอียดชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion)



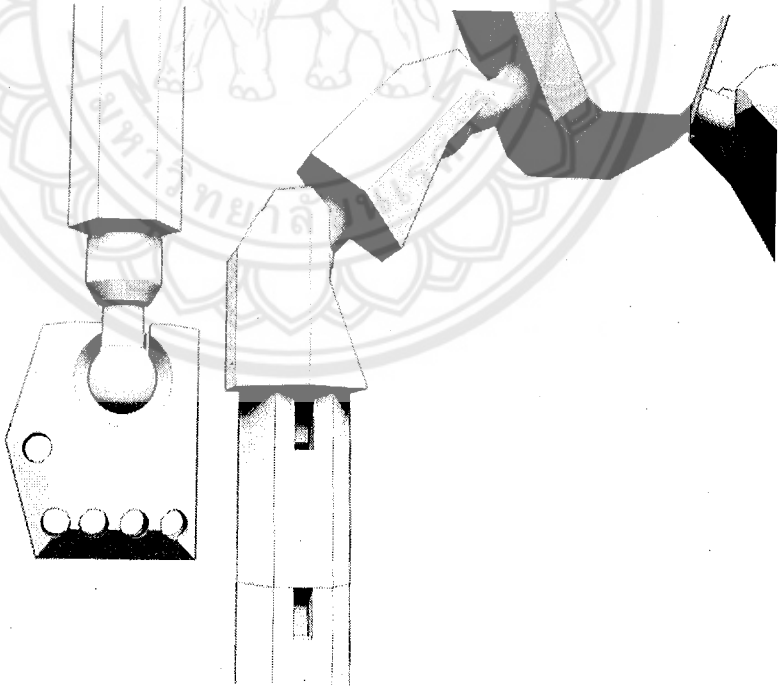
ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างบริเวณหัว หน้าอก ไหล่



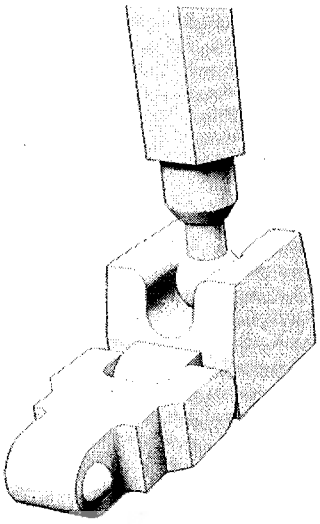
ภาพรายละเอียดชิ้นส่วนส่วนหัว หุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion)

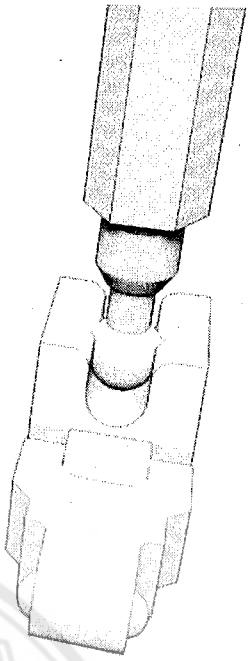


ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณสะโพก ข้อต่อบริเวณต้นขา

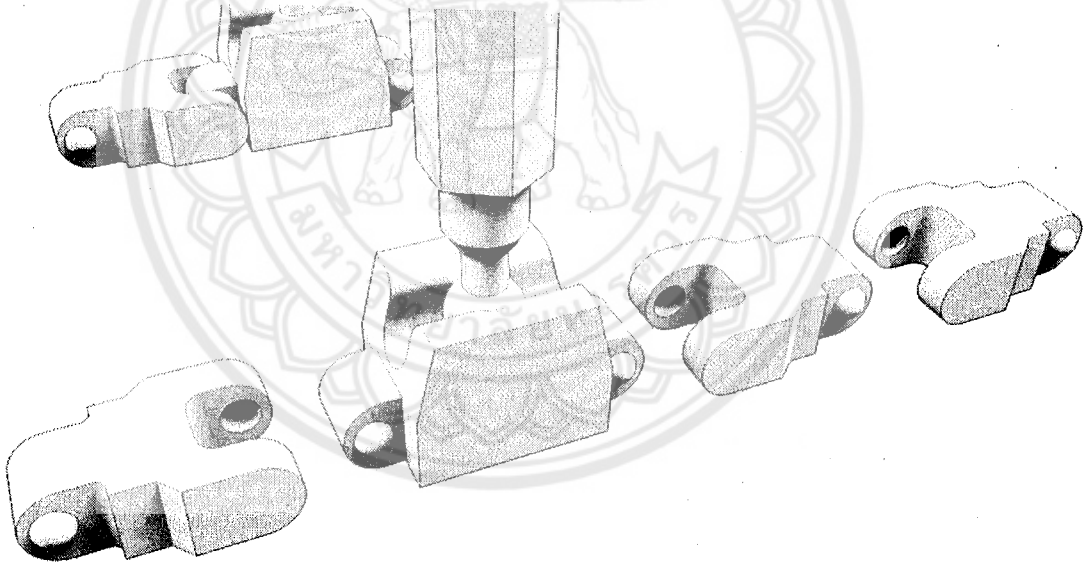


ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณมือ





ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณเท้า



ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณเท้า

บรรณานุกรม และเอกสารอ้างอิง

ชไมพร สุขสัมพันธ์, การวิเคราะห์สัญญะ รหัส และกระบวนการสร้างรหัสในการ์ตูนญี่ปุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญานิเทศศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาการสื่อสารมวลชน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541

พิมพ์พร พรหมมูล, การวิเคราะห์โครงสร้างตลาดอุตสาหกรรมซอฟแวร์ในประเทศไทย: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมแอนิเมชั่นและมัลติมีเดีย. รายงานการศึกษาอิสระปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น ,2551

พรรษวดี พงษ์ศิริและคณะ,การพัฒนาศักยภาพในการแข่งขันอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพารา. วารสารช่อพะยอม ปีที่ 26 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน) คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 2558

ไพโรจน์ พิทยเมธี. 2551 การวิเคราะห์องค์ประกอบการออกแบบเลขนศิลป์ที่แสดงเอกลักษณ์ไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปมหาบัณฑิต ภาควิชาการออกแบบนิเทศศิลป์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สำนักงานส่งเสริมอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), รายงานสรุปผลการสำรวจอุตสาหกรรมดิจิตอลคอนเทนท์ ประจำปี 2556 ภาพรวมอุตสาหกรรม ,2557. สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2560 http://www.sipa.or.th/sites/default/files/publication/files /executive_sizeoverview.pdf

วิไลพร คงศรีรอด, การพัฒนายางธรรมชาติเพื่อการติดโลหะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552

วารสาร JC E-Journal ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 ฉบับพิเศษ การค้นคว้าอิสระ (มิ.ย.-ธ.ค. 2555) คณะวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ,2555

วิสิฐ จันมา, การออกแบบและพัฒนาโครงสร้าง Armature mechanic สำหรับงานแอนิเมชั่นประเภท Stop Motion. งานวิจัยงบประมาณรายได้ของมหาวิทยาลัยนเรศวร. 2557

ต่างประเทศ

นัฐวัฒน์ โลหะนำเจริญ.(14 มีนาคม 2559). 8 โปรแกรมฟรี สำหรับออกแบบโมเดล 3 มิติ เพื่อใช้กับ 3D Printer. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2561.https://www.siamreprap.com/2016/03/8-free-software- for-3d-printer/

วิไลพรรณ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา. (18 เมษายน 2560). ทางเลือกใหม่ในการสร้าง Tooling เปลี่ยนวิธีการทำงานแบบเดิมๆ สู่ นวัตกรรมการสร้าง Tooling ด้วยเทคโนโลยี Additive Manufacturing เพื่อการผลิตยุคอุตสาหกรรม 4.0.สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2561, จาก http://www.siam3dprinter.com/tag/additive-manufacturing/

อสิพล อนันตอัมพร.(20 พฤษภาคม 2561). 3D Printer มีประโยชน์กับธุรกิจอย่างไร?. X3D Additive Manufacturing Technology.สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2561. https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/3d-printer-for-business

อสิพล อนันตอัมพร.(4 มกราคม 2559).3D Printing แบบ FDM คืออะไร.สืบค้นเมื่อ1 กันยายน 2561. https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/fdm-3d-printing

อสิพล อนันตอัมพร.(2 ธันวาคม 2559).การออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ / Designing for 3D Printing.สืบค้นเมื่อ1 กันยายน 2561. https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/designing-for-3d-printing

อสิพล อนันตอัมพร.(27 มกราคม 2559).การพิมพ์ 3 มิติคืออะไร- What is 3D Printing. สืบค้นเมื่อ1 กันยายน 2561. https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/what-is-3d-printing

ภาษาต่างประเทศ

Barry JC Purves. Stop-motion Animation Frame by Frame Film-making with Puppets and Models. Bloomsbury Publishing Plc, Uk. 2014.

Ciesielski, A. An Introduction to Rubber Technology. Rapra Technology Limited, United Kingdom. 1999.

Kukla, C., H. Loibl and H. Detter. Micro-injection moulding: the aims of a project partnership. Kunststoffe Plast 88: 6-7. 1998.

Lien Fan Shen, What is "computer animation"?: examining technological advancements and cultural aesthetics of Japanese animation. 2007.

Rosata, D.V., D.V. Rosata and M.G. Rosata. Injection Molding Handbook. Kluwer Academic Publishers, USA. 2000.

Tom Brierton. Stop-Motion Armature Machining A Construction Manual. McFarland Company, Inc., Publishers. America. 2002.

https://www.pinterest.com/ สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2561.https://www.siamreprap.com/2015/10/what-is-fdm-3d-printer/between-abs-and-pla/

Capucine Lonjon.(March 1,2017). Discover the history of 3D printer. Sculpteo. Retrieved Agust 20,2018.from https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main- 3d-printing-technologies

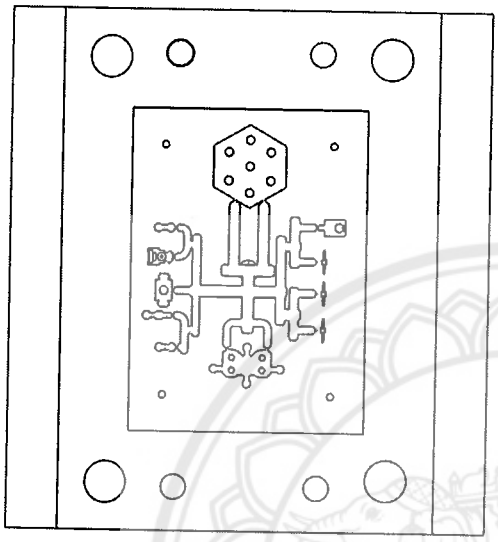
Hannah Bensoussan.(December 14,2016).The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today.Sculpteo. Retrieved Agust 20,2018 from https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/14/the-history-of-3d-printing-3d-printing- technologies-from-the-80s-to-today/

Luke Dormehl.(July 4,2018).15 major milestones along the brief history of 3D printing. DIGITAL TREND.Retrieved Agust 20,2018 from https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-3d-printing-milestones/

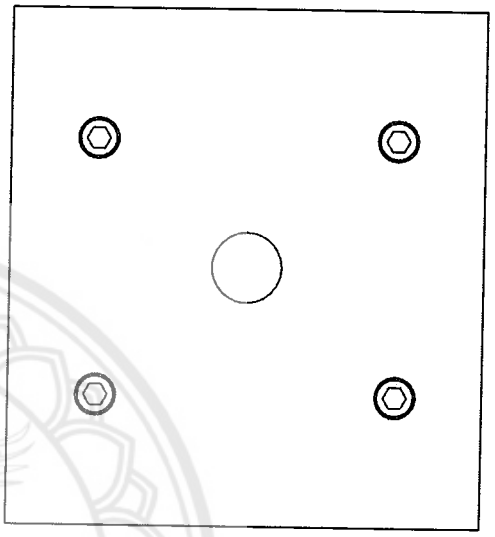
ภาคผนวก

การออกแบบแม่พิมพ์สำหรับผลิตหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นในระบบอุตสาหกรรม โดยการผลิตแม่พิมพ์แบบฉีด (Injection Molding) โดยเลือกวัสดุที่นำมาใช้คือพลาสติกแบบ ไนล่อน

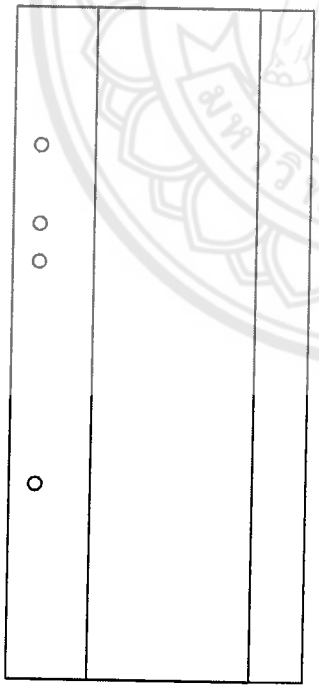
แบบภาคตัดขวางแม่พิมพ์ในระดับอุตสาหกรรมแบบที่1



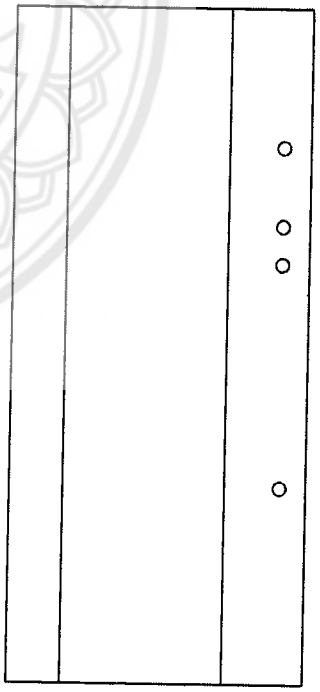
ด้านหน้า



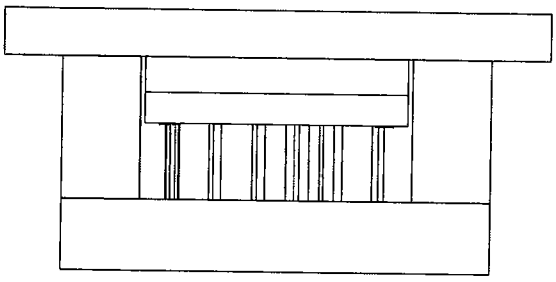
ด้านหลัง



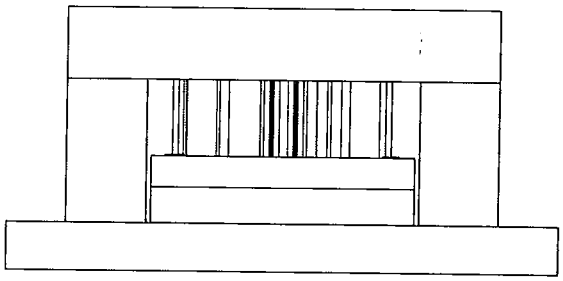
ด้านขวา



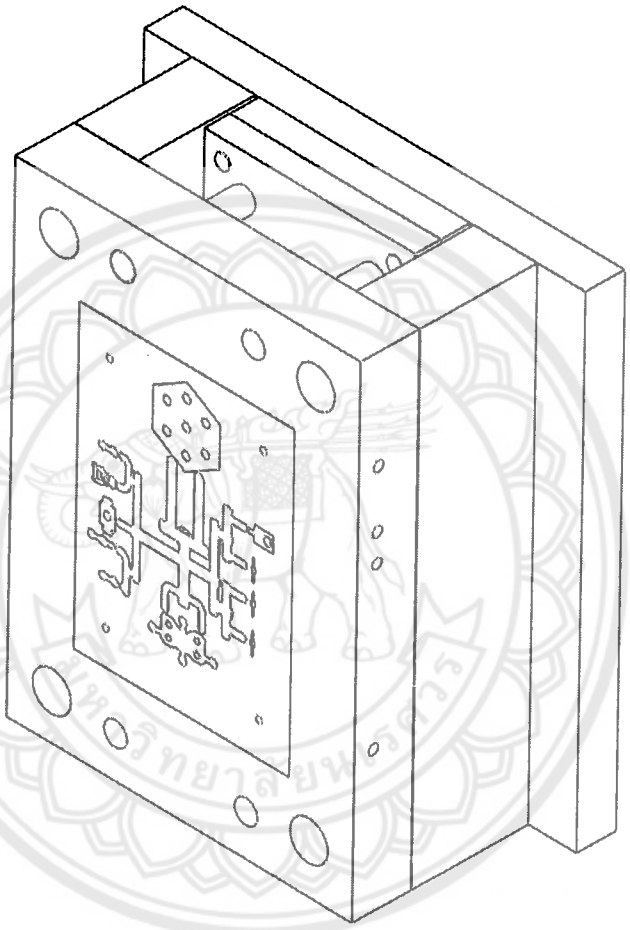
ด้านซ้าย



ด้านบน

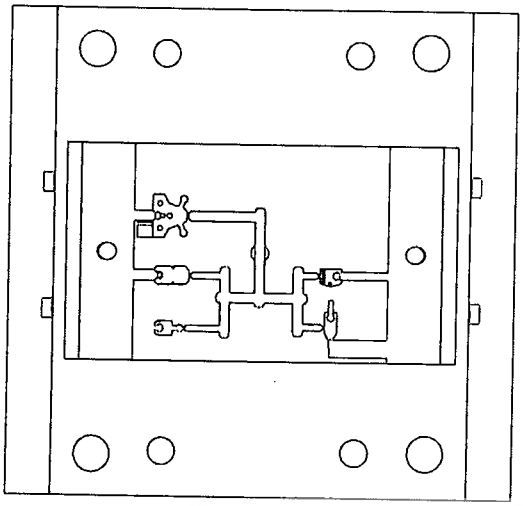


ด้านล่าง

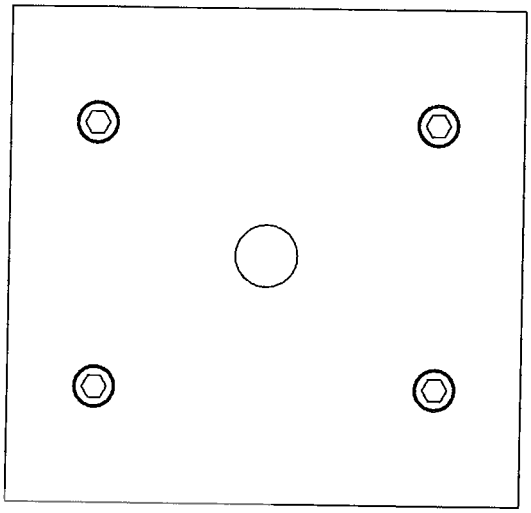


ทัศนียภาพ

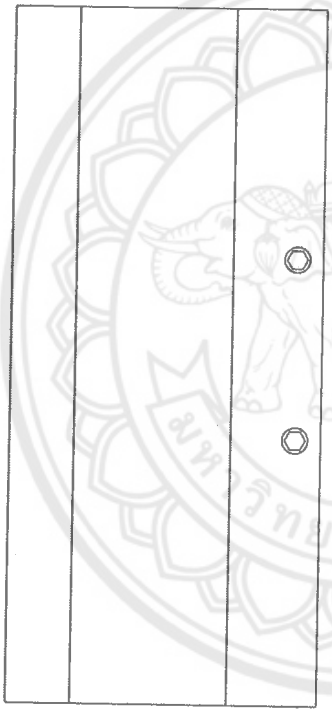
แบบภาคตัดขวางแม่พิมพ์ในระดับอุตสาหกรรมแบบที่2



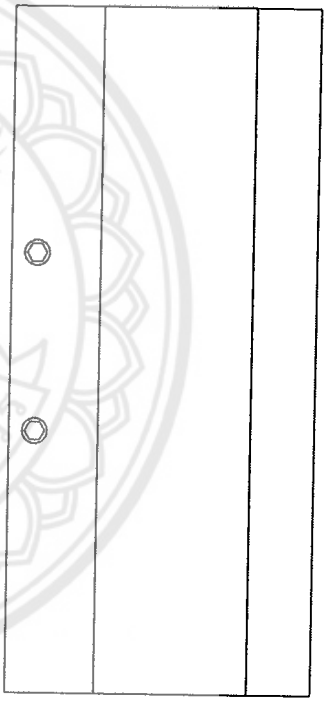
ด้านหน้า



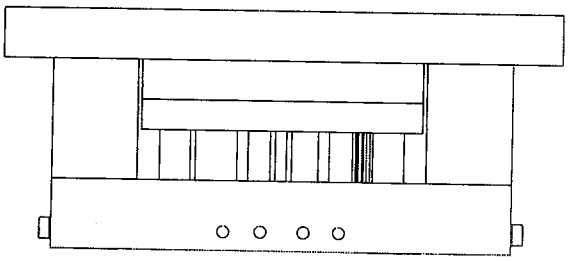
ด้านหลัง



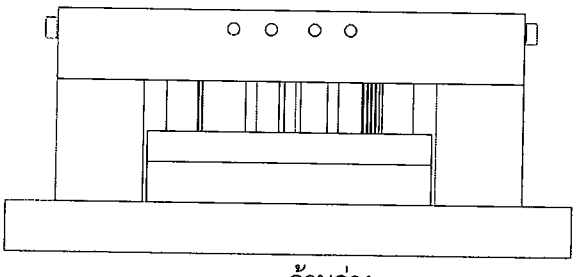
ด้านขวา



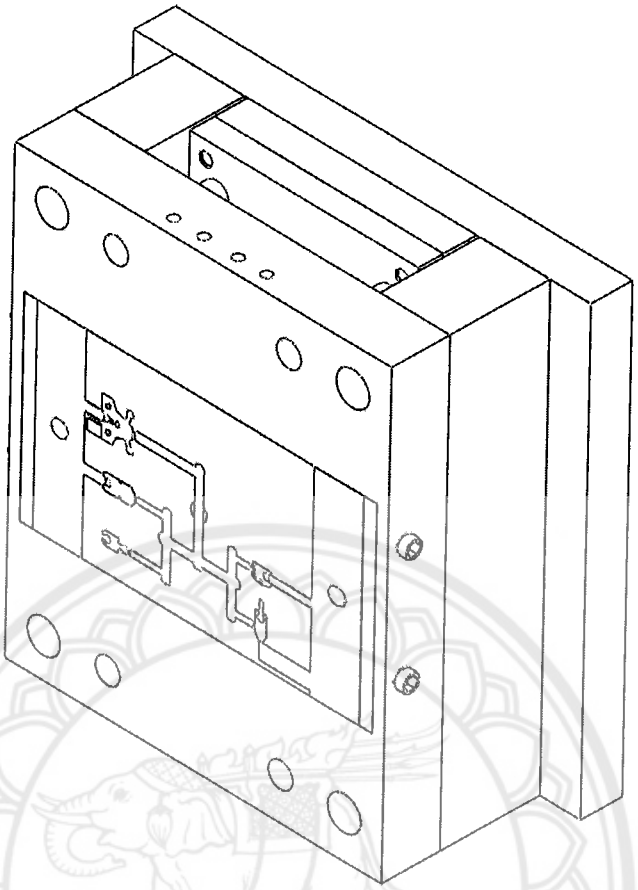
ด้านซ้าย



ด้านบน

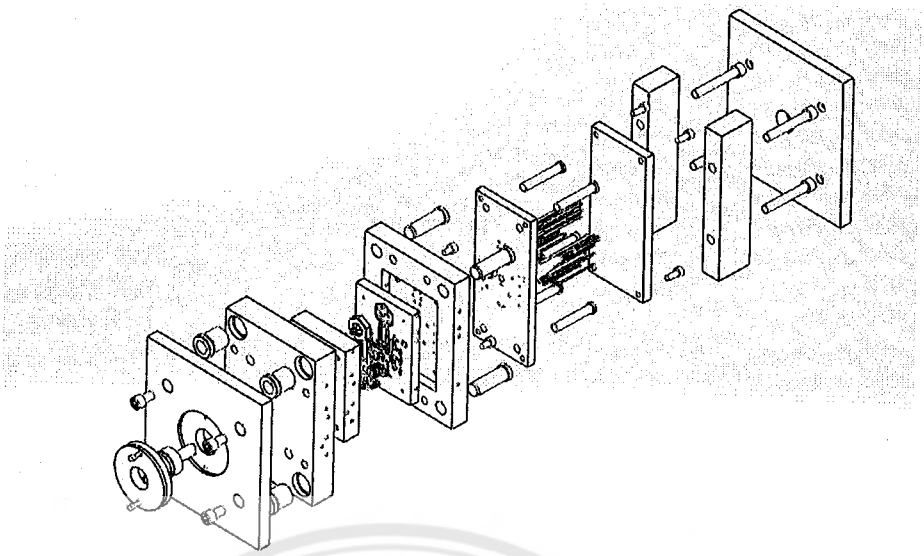


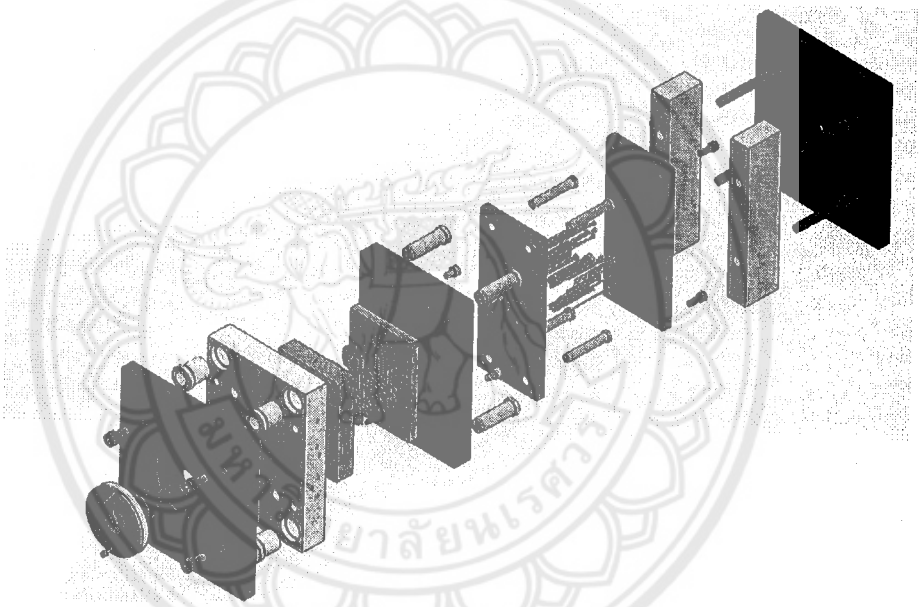
ด้านล่าง



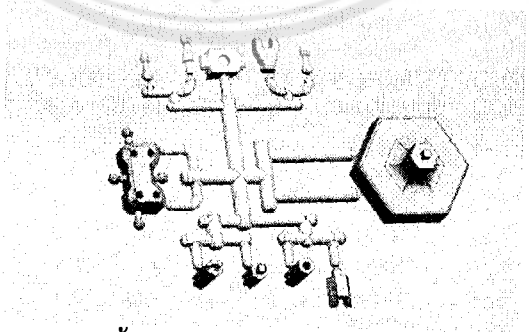
ทัศนียภาพ

แบบแม่พิมพ์แสดงการประกอบสามมิติ แบบที่1



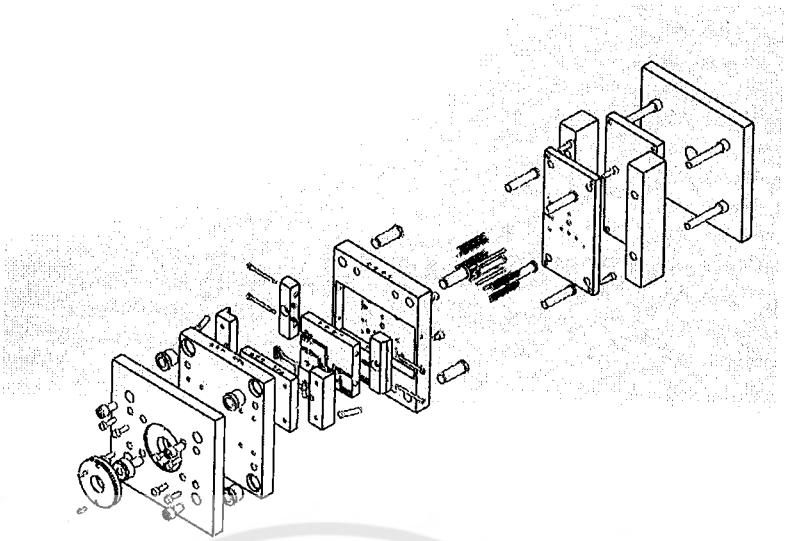


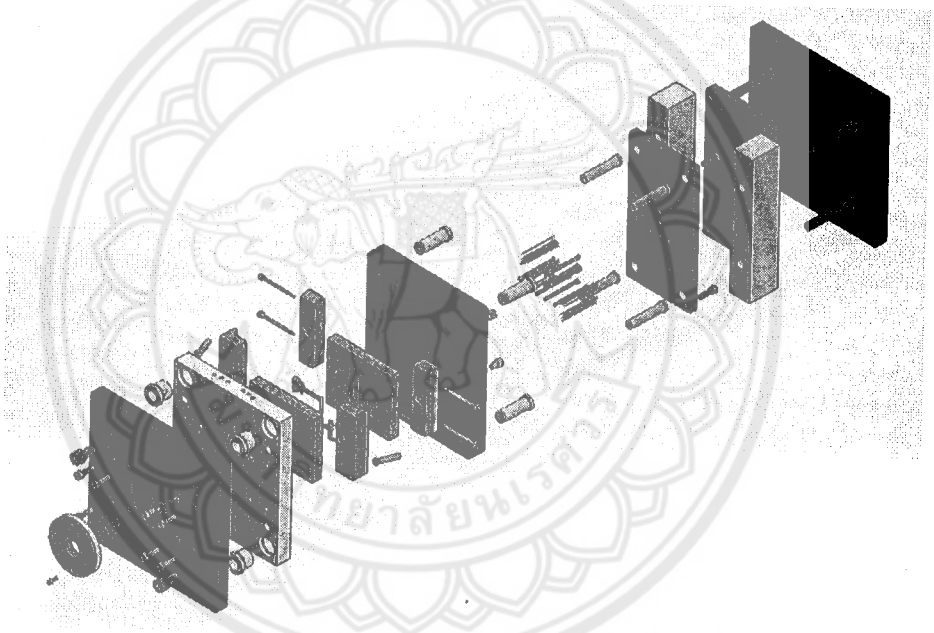
ภาพการประกอบแม่พิมพ์พลาสติกระดับอุตสาหกรรมแบบที่ 1



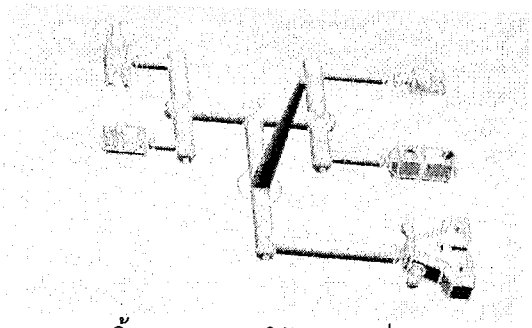
ชิ้นงานจากการใช้แม่พิมพ์ที่1

แบบแม่พิมพ์แสดงการประกอบสามมิติ แบบที่2

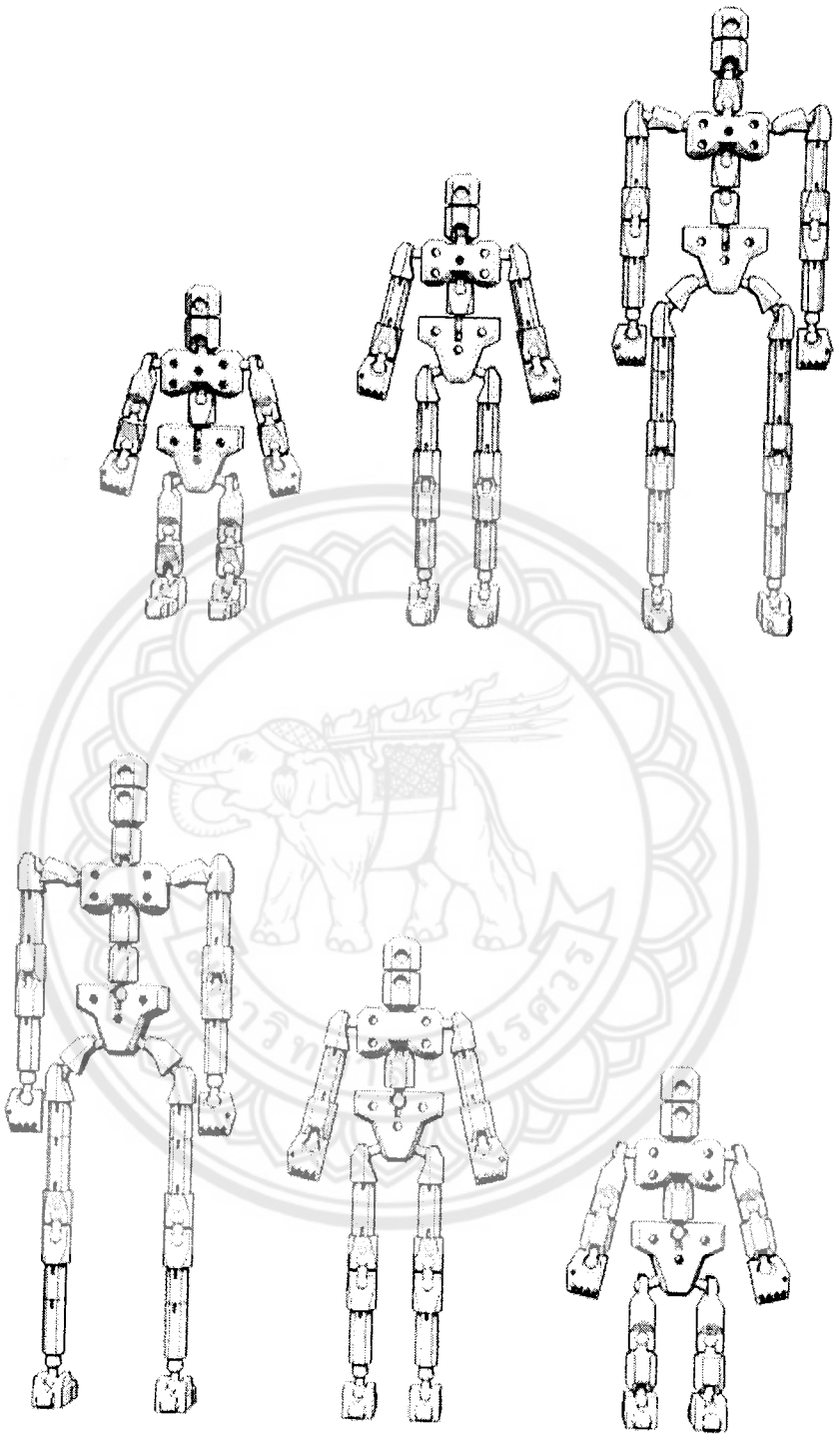




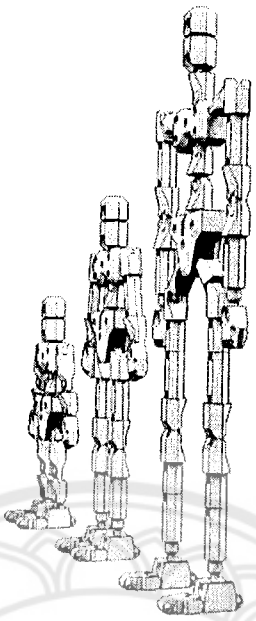
ภาพการประกอบแม่พิมพ์พลาสติกระดับอุตสาหกรรมแบบที่ 2



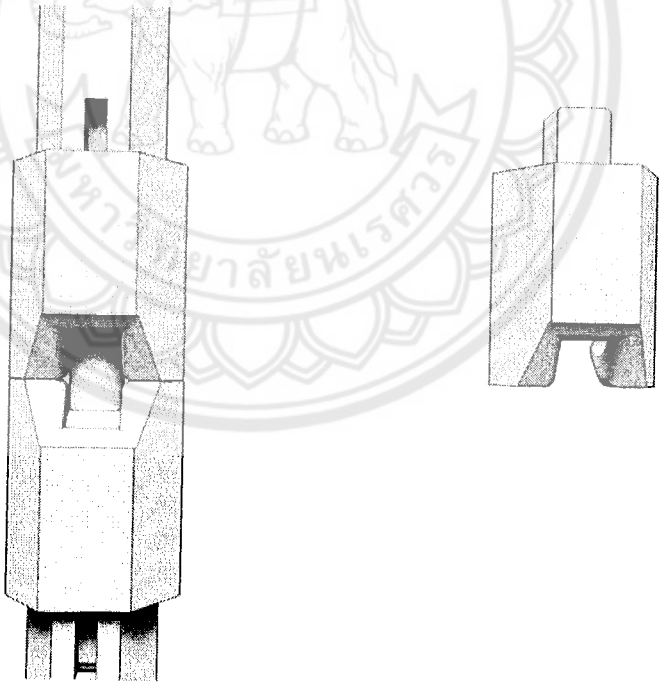
ชิ้นงานจากการใช้แม่พิมพ์ที่2



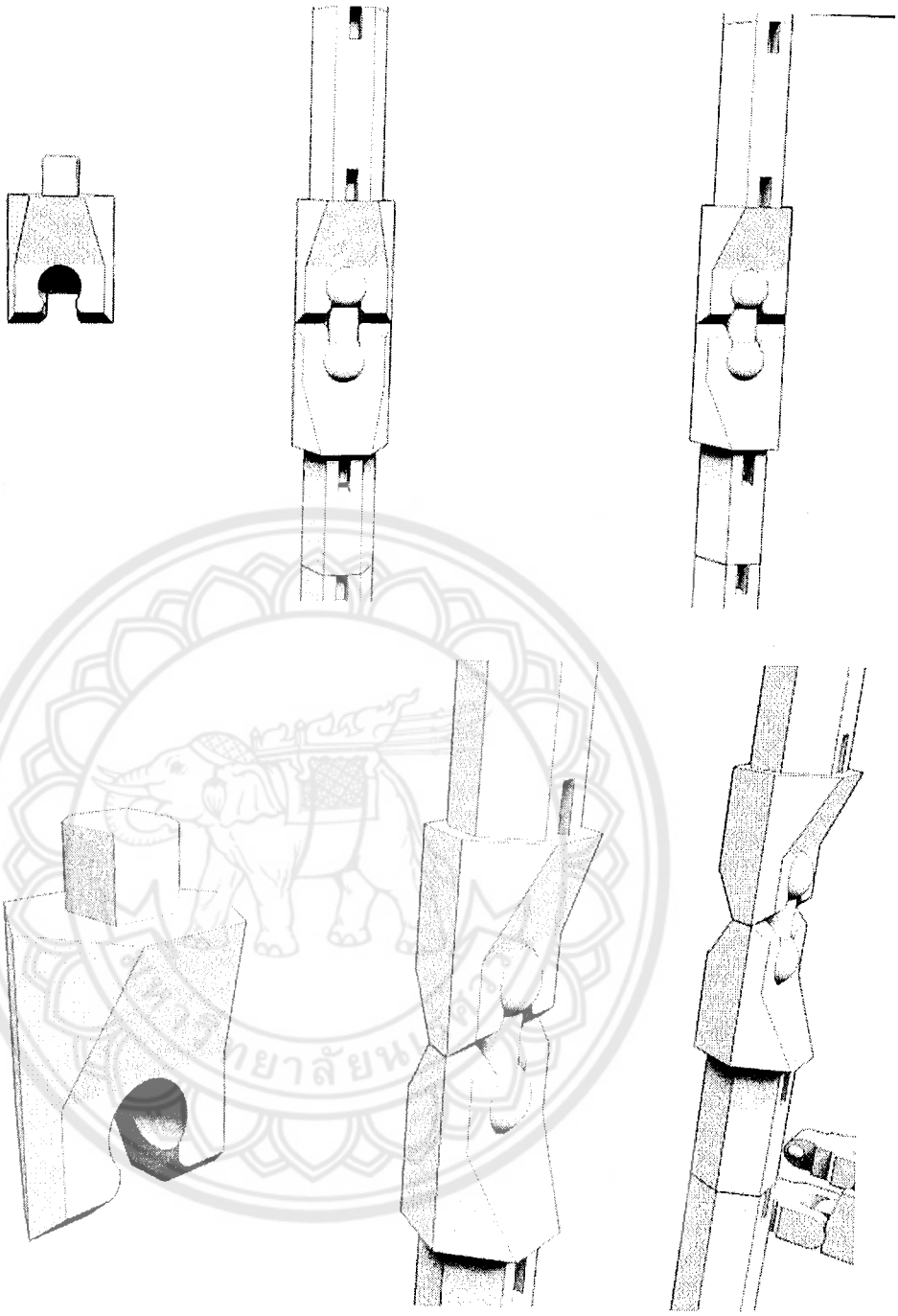
แบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion) ด้านหน้าและหลัง



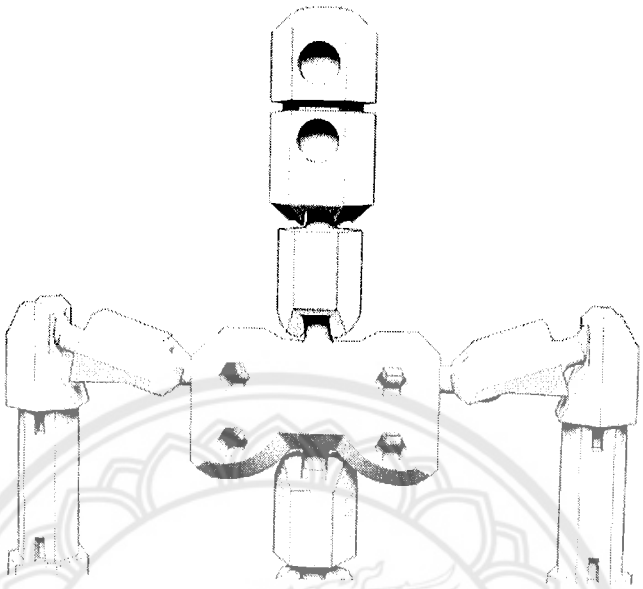
แบบหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion) มุมทัศนียภาพ



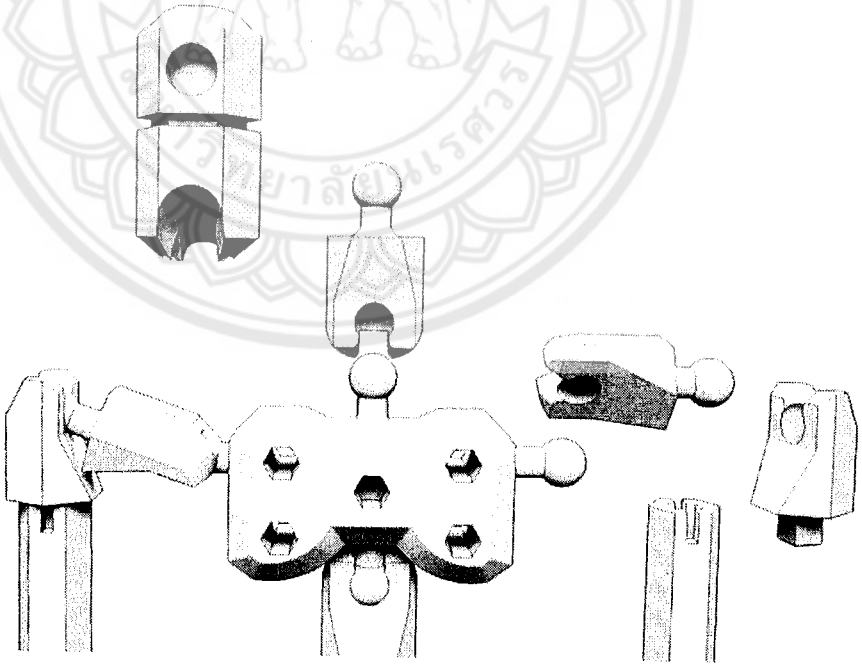
ภาพรายละเอียดชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion)



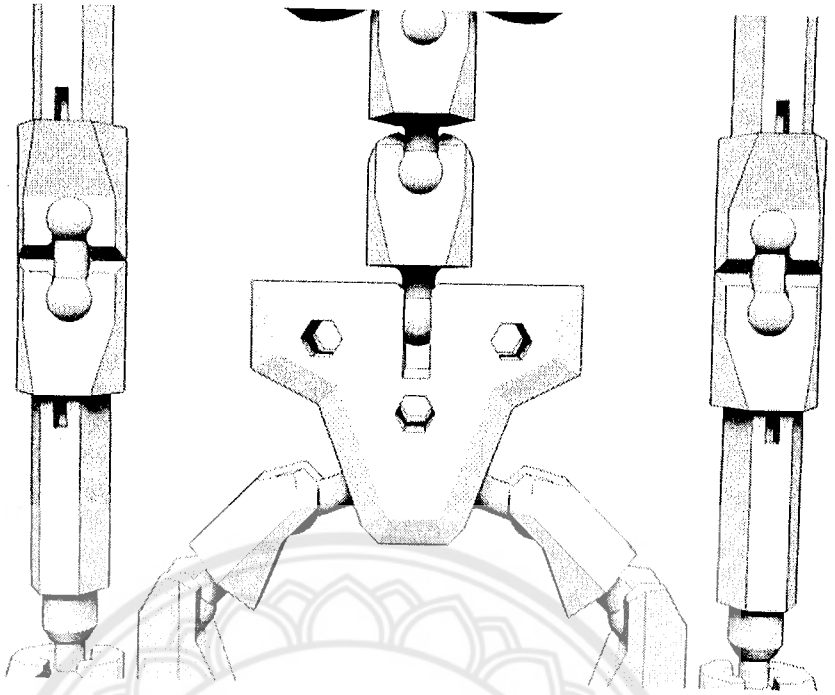
ภาพรายละเอียดชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion)



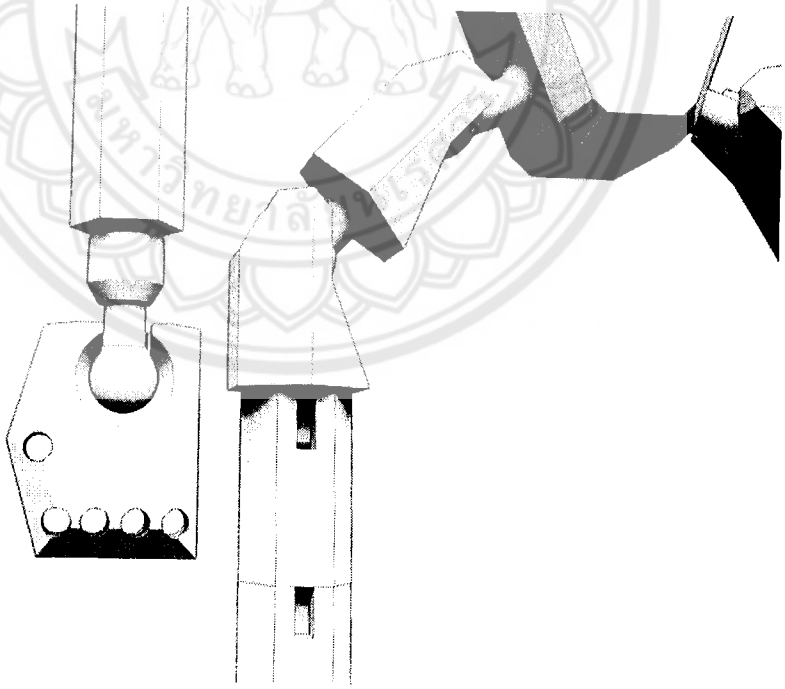
ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างบริเวณหัว หน้าอก ไหล่



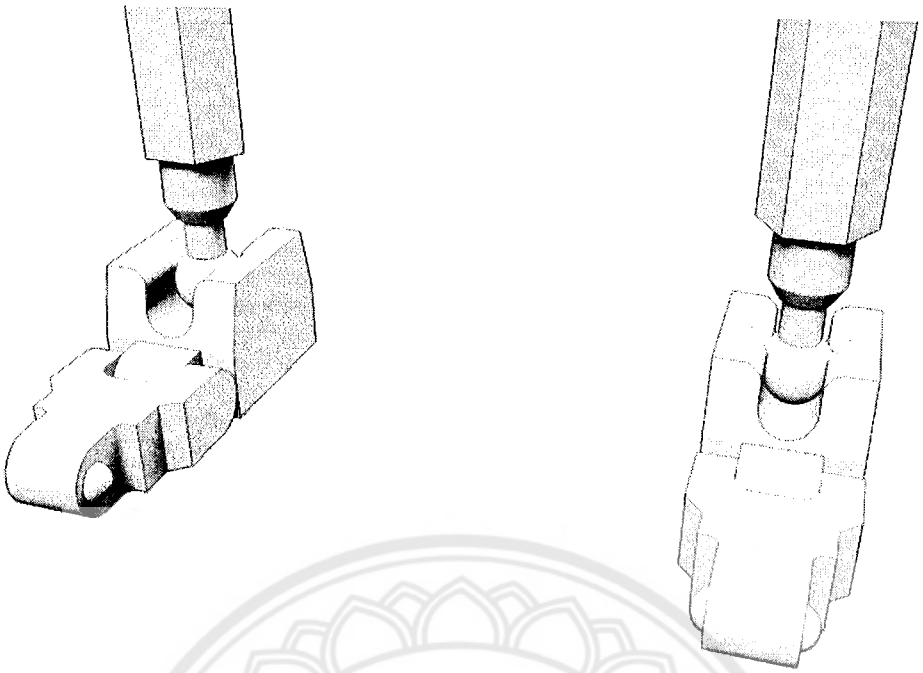
ภาพรายละเอียดชิ้นส่วนส่วนหัว หุ่นโครงสร้างสต็อบโมชั่นแอนิเมชั่น (Armature Stop Motion)



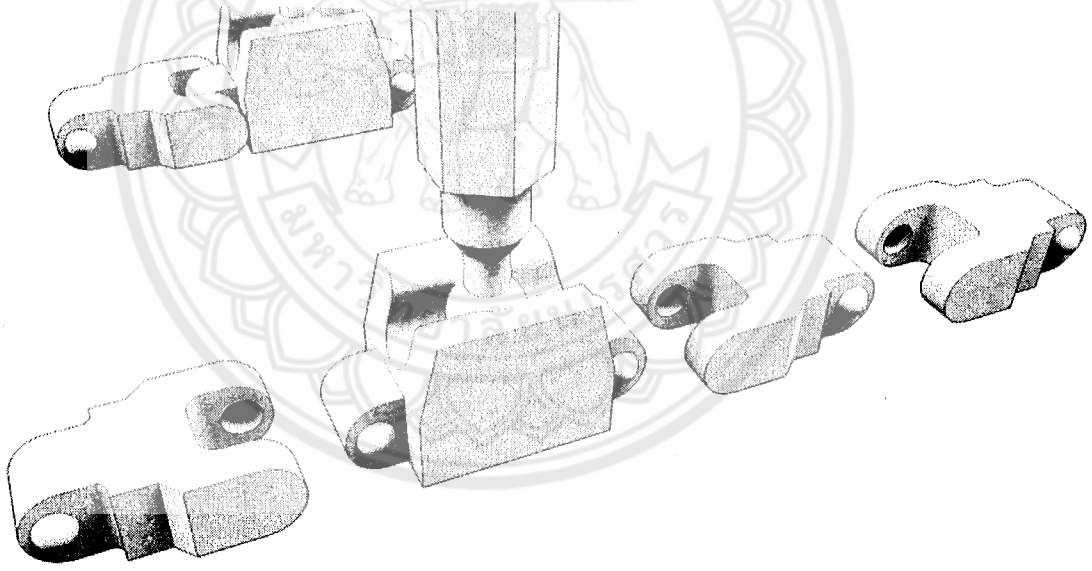
ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณสะโพก ข้อต่อบริเวณต้นขา



ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณมือ



ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณเท้า



ภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้างฯ บริเวณเท้า