



การออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครสตอปโมชัน

แอนิเมชัน



นิภัสรา บุรีเพ็ญ

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรศิลปกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาศิลปะและการออกแบบ

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครสตอปโมชัน
แอนิเมชัน



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรศิลปกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาศิลปะและการออกแบบ
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครสตอปโมชัน
แอนิเมชัน"

ของ นิภััสรา บุรีเพ็ญ

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ศิลปกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาศิลปะและการออกแบบ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ดร.ชาม จาตุรงค์กุล)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสิฐ จันมา)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีร์ศมี พรหมรัตน์)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตติยา เทพพิทักษ์)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล มุณีสว่าง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละคร สตอปโมชันแอนิเมชัน
ผู้วิจัย	นิภัสรา บุรีเพ็ญ
ประธานที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสิษฐ จันมา
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ ศป.ม. สาขาวิชาศิลปะและการออกแบบ, มหาวิทยาลัย นเรศวร, 2563
คำสำคัญ	หุ่นโครงสร้าง, สตอปโมชัน, แอนิเมชัน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาและวิเคราะห์หุ่นโครงสร้างที่ใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน 2) ออกแบบและสร้างสรรค์หุ่นโครงสร้างและนำไปใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน 3) ทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่นโครงสร้าง และสร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชันสตอปโมชัน โดยวิธีการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือสำหรับการวิจัยจำนวน 3 ชิ้น ดังนี้ 1) ต้นแบบหุ่นโครงสร้าง 2) วิดีโอแสดงการนำหุ่นโครงสร้างไปใช้ในงานสตอปโมชันแอนิเมชันตามกฎแอนิเมชัน 12 ข้อ 3) แบบประเมินประสิทธิภาพและคุณภาพของหุ่นโครงสร้างและการนำไปใช้โดยผู้เชี่ยวชาญด้านแอนิเมชัน ผลการวิจัยพบว่า โดยรวมหุ่นโครงสร้างที่พัฒนาขึ้นมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงในระดับมาก ที่ค่าเฉลี่ย 4.29 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.76 และหากพิจารณาคุณสมบัติของหุ่นโครงสร้างเป็นรายด้านจะพบว่า การออกแบบข้อต่อของหุ่นโครงสร้างนี้สามารถเคลื่อนไหวได้ตามกฎแอนิเมชัน 12 ข้อ ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.53, และหุ่นโครงสร้างสามารถนำมาออกแบบท่าทางได้อย่างอิสระ มีการเคลื่อนไหวที่ดูสมจริง, จำนวนของข้อต่อ, ความแข็งแรงของข้อต่อ, และลักษณะของข้อต่อเหมาะสมกับการเคลื่อนไหว เป็นลำดับต่อมา ที่ค่าเฉลี่ย 4.29 เท่ากัน

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า การออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครสตอปโมชันแอนิเมชันมีประสิทธิภาพและคุณภาพ มีจุดเด่นที่การออกแบบข้อต่อ ทำให้ตัวละครมีการเคลื่อนไหวที่ดูสมจริง และมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากผู้เชี่ยวชาญ คือ ควรมีการพัฒนารูปแบบให้สามารถดัดแปลงเป็นการเคลื่อนไหวของสัตว์สี่เท้าได้ และปรับปรุงให้ผลผลิตในระบบ

อุตสาหกรรมได้ จะเป็นประโยชน์ให้ผู้สนใจแอนิเมชันแบบสตอปโมชัน ได้เริ่มฝึกหัดการเคลื่อนไหวตัวละครในราคาประหยัด ทั้งยังเป็นการส่งเสริมธุรกิจแอนิเมชันในประเทศไทยอีกด้วย



Title	THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF ARMATURE FOR CREATING STOP MOTION ANIMATION
Author	NIPATSARA BUREEPIA
Advisor	Assistant Professor Visit Janma, Ph.D.
Academic Paper	Thesis M.F.A. in Art and Design, Naresuan University, 2020
Keywords	Armature, Stop Motion, Animation

ABSTRACT

The purposes of this research were 1) to study and analyze the armatures used for stop-motion animation characters, 2) to design and create armatures and use them for stop-motion animation characters, and 3) to evaluate the movement of the armatures and create stop-motion animation. There were three research instruments as follows: 1) prototype armatures, 2) a video showing the application of prototype armatures in stop motion animation according to the 12 principles of animation, and 3) questionnaires to evaluate the performance and quality of armatures by animation experts. The results showed that, overall, the developed armature had practical potential at a high level (\bar{x} = 4.29, S.D. = 0.76). When looking at the features of the armature, it was found that the designed joints and sockets were capable of animating according to the 12 principles of animation which received the highest level of assessment (\bar{x} = 4.57, S.D. = 0.53). It was followed by that the armature could be freely animated for posture, there was realistic movements, and the number, strength, and type of joints were suitable for movement, respectively, with the same mean (\bar{x} = 4.29).

According to the research results, it can be concluded that the design and development of armature have efficiency and good quality. The outstanding point is that the designed joints can make the characters have realistic movements. The suggestions from experts are that the armature should be adapted to the movement of animals too. Moreover, it should be improved for the production of industry system so that it will be useful for anyone who is interested in stop-motion

animation to begin practicing character animating at a low cost. As a result, it will promote the animation business in Thailand as well.



ประกาศคุณูปการ

ขอขอบพระคุณ บุคคล หน่วยงาน ที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนในการเขียนวิจัยและคอยให้คำปรึกษาให้งานวิจัยครั้งนี้ราบรื่นไปได้ด้วยดี ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสิฐ จันมา ผู้ให้คำปรึกษาและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลินดา อินทราลักษณ์, รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีร์ศม์ พรหมรัตน์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนยุทธ ศรีหิรัญ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรัญญา พหลเทพ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธศักดิ์ ชื่นใจชน และ ดร.วราภรณ์ มามี รวมไปถึงผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาตรวจทานผลงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านแอนิเมชันสตอปโมชัน ที่ช่วยให้ข้อมูล ตลอดจนผู้ช่วยเหลือด้านสร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชันสตอปโมชันให้เสร็จสมบูรณ์ ประกอบด้วย นางสาวอุมาพร ทูลขุนทด และนายเจษฎา ทองคำดอน



นิภัศรา บุรีเพ็ญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
ประกาศคุณูปการ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา	1
คำถามการวิจัย.....	5
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	6
กรอบการเชื่อมโยงแนวคิดทฤษฎี.....	7
สมมติฐานของการวิจัย	8
ขอบเขตการวิจัย	8
คำสำคัญหรือคำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	9
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
2.1 หลักการออกแบบ.....	13
2.1.1 ความหมายของการออกแบบ	13

2.1.2	กระบวนการออกแบบ.....	14
2.1.3	ผลของการออกแบบ.....	16
2.2.	โครงสร้างของร่างกายและกระดูกมนุษย์.....	17
2.2.1	โครงสร้างของร่างกายและกระดูกมนุษย์.....	17
2.2.2	ข้อต่อของกระดูก (JOINTS OR ARTICULATIONS).....	20
2.2.3	สัดส่วน (PROPOTION).....	40
2.2.4	สรุปผลการศึกษากายวิภาค	42
2.3	ตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน	43
2.3.1	รูปแบบของตัวละครสตอปโมชันแอนิเมชัน.....	43
2.3.2	สัดส่วนของตัวละคร	70
2.4.	หุ่นโครงสร้าง Armature ที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรม.....	71
2.4.1	หุ่นโครงสร้าง Cyclops ของ Ray Harryhausen.....	72
2.4.2	หุ่นโครงสร้าง Armature ของ TED SYDOR	75
2.4.3	หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tom Brierton	77
2.4.4	หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tetsu Kawamura	79
2.4.5	หุ่นโครงสร้าง Armature ในระบบอุตสาหกรรมของ Animation Toolkit	80
2.4.6	หุ่นโครงสร้าง Armatures Creature Kit ของ Aardman.....	83
2.4.7	หุ่นโครงสร้าง Stikfas	84
2.4.8	หุ่นโครงสร้าง modibot.....	86
2.4.9	หุ่นโครงสร้าง Stickybones.....	89
2.4.10	หุ่นโครงสร้าง Armature Nine (A9-RIG).....	92
2.4.11	หุ่นโครงสร้าง Gemobot.....	95

2.4.12	หุ่นโครงสร้าง Skelly The Skeleton	97
2.5.	จลนศาสตร์ (Kinematic) และการเคลื่อนไหว (Motion)	100
2.5.1	ข้อต่อ และการเคลื่อนไหวของกระดูก	101
2.6	การศึกษาด้านกฎการเคลื่อนไหวตัวละครแอนิเมชัน 12 ข้อ (the fundamental principles of animation).....	103
2.7	การขึ้นรูป 3 มิติ และพิมพ์ 3 มิติ	107
2.7.1.	ความเป็นมาของคอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองเรขาคณิต.....	107
2.7.2.	ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	111
2.7.3	เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ในงานแอนิเมชัน	119
2.8.	ขั้นตอนการผลิตสตอปโมชันแอนิเมชัน.....	123
2.9.	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	126
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	135
	ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	139
	ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย	141
	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	142
	การทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	142
	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	143
	วิธีวิเคราะห์ข้อมูล	144
	แผนการดำเนินงาน	145
บทที่ 4	ผลการวิจัย	146
	ผลการศึกษากายวิภาคจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	146
	ผลการวิเคราะห์หุ่นโครงสร้าง Armature	149

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของตัวละคร	150
ผลการวิเคราะห์รูปแบบหุ่นโครงสร้างจากภาพยนตร์สต็อปโมชันแอนิเมชัน	151
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลหุ่นโครงสร้างที่ผลิตขายในรูปแบบอุตสาหกรรม	152
ผลการวิจัยวัสดุที่ใช้ในการผลิตหุ่นโครงสร้าง Armature.....	159
ผลการวิเคราะห์จุดเด่นและจุดด้อยในการเคลื่อนไหวของหุ่นโครงสร้าง Armature จาก ภาพยนตร์ 10 แบบ และ จากระบบอุตสาหกรรม 12 แบบ	160
ผลการศึกษาด้านจลนศาสตร์และการเคลื่อนไหวข้อต่อมนุษย์.....	161
ผลการศึกษาด้านกฎการเคลื่อนไหวตัวละครแอนิเมชัน 12 ข้อ.....	163
ผลการออกแบบหุ่นโครงสร้าง.....	164
บทที่ 5 สรุปผลและอภิปรายผล.....	181
สรุปผลและอภิปรายผล.....	182
จุดเด่นและจุดด้อยของหุ่นโครงสร้าง Armature	186
ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ	187
บรรณานุกรม.....	188
ภาคผนวก	192
ประวัติผู้วิจัย.....	208

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แสดงคำสำคัญหรือคำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย นิยามศัพท์เฉพาะและความหมาย.....	9
ตาราง 2 แสดงการศึกษาเอกสารและอ้างอิงตามวัตถุประสงค์.....	12
ตาราง 3 แสดงการศึกษาเอกสารและอ้างอิงตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3.....	107
ตาราง 4 แสดงวิธีดำเนินการวิจัยและเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์.....	136
ตาราง 5 เกณฑ์ค่าคะแนนที่ใช้ในการแปลความหมายของข้อมูล.....	144
ตาราง 6 แสดงข้อต่อของหุ่นโครงสร้าง Armature ที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรม 12 แบบ.....	147
ตาราง 7 แสดงสรุปสัดส่วนของหุ่น Armature.....	150
ตาราง 8 แสดงสรุปการวิเคราะห์วัสดุและข้อดี ข้อเสีย ของหุ่น Armature จำนวน 12 แบบ กลุ่มที่ 1.....	153
ตาราง 9 แสดงสรุปการวิเคราะห์วัสดุและข้อดี ข้อเสีย ของหุ่น Armature จำนวน 12 แบบ กลุ่มที่ 2.....	156
ตาราง 10 แสดงสรุปวัสดุที่ใช้สร้างหุ่น Armature ที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรม.....	159
ตาราง 11 แสดงสรุปจุดเด่นและจุดด้อยของหุ่น Armature.....	161
ตาราง 12 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างการเคลื่อนไหวเปรียบเทียบกับชิ้นส่วน Joint ใน รูปแบบต่าง ๆ.....	162
ตาราง 13 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเหมาะสม ในการนำหุ่น โครงสร้างไปใช้ในงานสตอปโมชันแอนิเมชัน.....	179

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 แสดงมูลค่ารวมอุตสาหกรรมแอนิเมชันปี 2558-2559 และคาดการณ์มูลค่าปี 2560-2561.....	2
ภาพ 2 แสดงไทม์ไลน์ของแอนิเมชันไทย 10 ปีย้อนหลัง.....	3
ภาพ 3 แสดง Time line ของศิลปะไทยและการนำมาประยุกต์ใช้กับสตอปโมชัน	4
ภาพ 4 แสดง The Ray and Diana Harryhausen Foundation	4
ภาพ 5 แสดงกรอบการเชื่อมโยงแนวคิดทฤษฎี	7
ภาพ 6 แสดงข้อต่อชนิดเคลื่อนไหวไม่ได้เลย	21
ภาพ 7 แสดงการเคลื่อนไหวของข้อต่อ	23
ภาพ 8 แสดงโครงสร้างสาขาของร่างกาย	24
ภาพ 9 แสดงการเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง	26
ภาพ 10 แสดงกระดูกสันหลัง.....	27
ภาพ 11 แสดงกระดูกส่วนทรวงอก.....	29
ภาพ 12 แสดงโครงสร้างสาขาทอนบน.....	30
ภาพ 13 แสดงกระดูกสะบัก	31
ภาพ 14 แสดงกระดูกต้นแขน	33
ภาพ 15 แสดงกระดูกปลายแขน	34
ภาพ 16 แสดงกระดูกเชิงกราน.....	36
ภาพ 17 แสดงกระดูกขา	37
ภาพ 18 แสดงกระดูกขาช่วงน่อง	38

ภาพ 19 แสดงข้อต่อหัวเข่า	39
ภาพ 20 แสดงกระดูกขา	40
ภาพ 21 แสดงสรุปการวิเคราะห์ข้อต่อของกระดูกมนุษย์	43
ภาพ 22 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Wallace and Gromit	44
ภาพ 23 แสดงตัวละครหลัก ให้เสียงโดยดารานำชายที่มีชื่อเสียงชื่อ Peter Sallis	44
ภาพ 24 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Wallace and Gromit ตอน The curse of were-rabbit	45
ภาพ 25 แสดงหุ่นโครงสร้าง	45
ภาพ 26 แสดงส่วนหัวและใบหน้า	46
ภาพ 27 แสดงผิวตัวละคร	46
ภาพ 28 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ The Nightmare Before Christmas	46
ภาพ 29 แสดงหุ่นโครงสร้างตัวละครหลัก	47
ภาพ 30 แสดงหุ่นโครงสร้างตัวละครซานต้า	48
ภาพ 31 แสดงหุ่นโครงสร้างของตัวละคร Oogie Boogie	48
ภาพ 32 แสดงการตีโพมยางสีเขียว	49
ภาพ 33 แสดงการหล่อแม่พิมพ์	49
ภาพ 34 แสดงการทำสีตัวละคร	50
ภาพ 35 แสดงใบหน้าและส่วนหัวของตัวละคร	50
ภาพ 36 แสดงเครื่องแต่งกายของตัวละคร	51
ภาพ 37 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Corpse Bride	51
ภาพ 38 ส่วนหัวของตัวละครหลัก	52
ภาพ 39 แสดงวัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นโครงสร้าง	52

ภาพ 40 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Coraline.....	53
ภาพ 41 แสดงหุ่นโครงสร้างของตัวละคร Coraline.....	53
ภาพ 42 แสดงนิ้วมือสร้างจากโครงลวดและถอดเปลี่ยนได้.....	54
ภาพ 43 แสดงผิวของตัวละคร.....	54
ภาพ 44 แสดงใบหน้าของตัวละคร.....	54
ภาพ 45 แสดงเสื้อผ้าตัวละคร.....	55
ภาพ 46 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ ParaNorman.....	55
ภาพ 47 แสดงวัสดุที่ใช้.....	56
ภาพ 48 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ The boxtrolls.....	56
ภาพ 49 แสดงส่วนหัวที่มีวงจรไฟฟ้า.....	57
ภาพ 50 แสดงส่วนลำตัวพร้อมกล่องคอนโทรล.....	57
ภาพ 51 แสดงภาพกล่องควบคุม.....	57
ภาพ 52 แสดงชิ้นส่วนใบหน้า 3 มิติที่พิมพ์บนหมึก.....	58
ภาพ 53 แสดงหุ่นโครงสร้างของบริษัท LAIKA.....	59
ภาพ 54 แสดงกลุ่มควบคุมตัวละคร.....	59
ภาพ 55 แสดงรายละเอียดของตัวละคร.....	59
ภาพ 56 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Kubo And The Two Strings.....	60
ภาพ 57 แสดงหุ่นโครงสร้าง.....	60
ภาพ 58 แสดงใบหน้าตัวละคร.....	61
ภาพ 59 แสดงวัสดุหุ้มหุ่นโครงสร้าง.....	61
ภาพ 60 แสดงเสื้อผ้าตัวละคร.....	62
ภาพ 61 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Early Man.....	62

ภาพ 62 แสดงโครงสร้างของตัวละคร	63
ภาพ 63 แสดงใบหน้าของตัวละคร	64
ภาพ 64 แสดงผิวของตัวละครที่ผสมวัสดุต่างๆ ไว้ด้วยกัน เช่น ส่วนมือคือยางซิลิโคน ส่วนหัวคือเรซิน และส่วนปาก (Facial) คือดินน้ำมัน	64
ภาพ 65 แสดงเครื่องนวดดินน้ำมันของบริษัท Aardman Animation ใช้ผสมสีดินน้ำมัน... 64	
ภาพ 66 แสดงเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกายของตัวละคร มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการทำแม่พิมพ์ซิลิโคน แขนและขาของตัวละคร เนื่องจากต้องยึดตามลักษณะของ Character design ซึ่งทำตามแบบเฉพาะของตัวละครนั้นๆ	65
ภาพ 67 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Isle of Dogs.....	65
ภาพ 68 แสดงหุ่นโครงสร้างตัวละคร	66
ภาพ 69 แสดงผิวของตัวละครทำจากซิลิโคน โดยสร้างแม่พิมพ์ด้วยดินน้ำมัน.....	66
ภาพ 70 แสดงใบหน้าของตัวละครสามารถถอดเปลี่ยนได้ทำจากแม่พิมพ์ยางซิลิโคนและเรซิน	67
ภาพ 71 แสดงเส้นขนและเส้นผมของตัวละครมีความละเอียดมาก	67
ภาพ 72 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Missing Link	68
ภาพ 73 แสดงใบหน้าตัวละครที่ผลิตด้วยเครื่องพิมพ์ผงสี 3 มิติ	68
ภาพ 74 แสดงใบหน้าตัวละครที่ผลิตด้วยเครื่องพิมพ์ผงสี 3 มิติ	69
ภาพ 75 แสดงใบหน้าตัวละครที่ผลิตด้วยเครื่องพิมพ์ผงสี 3 มิติ	69
ภาพ 76 แสดงเปรียบเทียบลักษณะของชายวัยกลางคนในแต่ละสัดส่วนที่แตกต่างกัน.....	70
ภาพ 77 แสดงหุ่น Cyclops ของ Ray Harryhausen.....	72
ภาพ 78 แสดงหุ่นโครงสร้างในฉาก.....	72
ภาพ 79 แสดงโครง Armature ของหุ่น Cyclop	73
ภาพ 80 แสดงหุ่นโครงสร้าง Armature ของ TED SYDOR.....	75

ภาพ 81 แสดง Armature ชิ้นแรกของ TED SYDOR.....	75
ภาพ 82 แสดงผลงานของบริษัท Trik Film Effects.....	76
ภาพ 83 แสดงหุ่นโครงสร้างโดย Tom Brierton	77
ภาพ 84 แสดงหุ่นโครงสร้าง	78
ภาพ 85 แสดง StopMate series SM-004D รุ่นล่าสุด.....	79
ภาพ 86 แสดง Animation Tookits.....	80
ภาพ 87 แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนของ Animation Toolkit	81
ภาพ 88 แสดง Armature Anibild Chimera Animation Toolkit ราคา £279.99.....	82
ภาพ 89 แสดง Male 1C Cinematic Armature Anibild Chimera Animation Toolkit รุ่น 2019.....	83
ภาพ 90 แสดง ardman Armatures Creature Kit	83
ภาพ 91 แสดงหุ่นโครงสร้าง Stikfas.....	84
ภาพ 92 แสดงภาพถ่ายของของเล่น Stikfas Pirate	85
ภาพ 93 แสดงภาพถ่ายหุ่น Armature Stikfas	85
ภาพ 94 แสดงภาพถ่ายหุ่น Armature ModiBot Mo	86
ภาพ 95 แสดงหุ่นโครงสร้าง	87
ภาพ 96 แสดง ModiBot Stopmotion Starter Set และ Black Exo-Skin figure frame.....	88
ภาพ 97 แสดงภาพโครงร่าง modibot.....	88
ภาพ 98 แสดงภาพจากวิดีโอหุ่นโครงสร้าง stickybones.....	89
ภาพ 99 แสดงลักษณะและพื้นผิว สร้างจากโปรแกรม 3 มิติ	90
ภาพ 100 แสดงการทำพื้นผิว	90
ภาพ 101 แสดงภาพจากวิดีโอ	91

ภาพ 102 แสดงภาพโครงร่าง stickybones.....	92
ภาพ 103 แสดงภาพ 3 มิติ Armature Nine (A9)	92
ภาพ 104 แสดง Armature Nine (A9).....	93
ภาพ 105 แสดงภาพถ่ายหุ่น Armature Nine (A9).....	93
ภาพ 106 แสดงภาพโครงร่าง Armature Nine (A9)	95
ภาพ 107 แสดงหุ่นโครงสร้าง Gemobot.....	95
ภาพ 108 แสดงภาพ 3 มิติ หุ่นโครงสร้าง Gemobot.....	96
ภาพ 109 แสดงภาพโครงร่าง Gemobot.....	97
ภาพ 110 แสดงภาพชิ้นส่วนหุ่นโครงสร้าง Skelly The Skeleton	97
ภาพ 111 แสดงภาพถ่ายหุ่น Armature Skelly Skeleton.....	98
ภาพ 112 แสดงภาพโครงร่าง Gemobot.....	99
ภาพ 113 แสดงการจำแนกประเภทของข้อต่อบนพื้นฐานของโครงสร้างและหน้าที่	101
ภาพ 114 การทำท่าเตรียม.....	104
ภาพ 115 แสดงโปรแกรม Solid Work.....	109
ภาพ 116 แสดงประมวลผลของระบบ FEA ก่อนจะสั่งพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ.....	110
ภาพ 117 แสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์ FEA.....	110
ภาพ 118 แสดงการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม.....	111
ภาพ 119 แสดง Time Line ความเป็นมาของระบบการพิมพ์ 3 มิติ.....	113
ภาพ 120 แสดงเครื่องพิมพ์เรซิน DLP	114
ภาพ 121 แสดงเครื่องพิมพ์ เรซิน DLP	115
ภาพ 122 แสดงตัวอย่าง เส้น Support ที่ใช้ในการยึดเกาะชิ้นงาน.....	115
ภาพ 123 แสดงตัวอย่าง การอบ UV เพื่อให้ชิ้นงานแข็งตัว	116

ภาพ 124 แสดงเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รูปแบบ FDM	118
ภาพ 125 แสดงผลงานจากการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเครื่อง FDM.....	118
ภาพ 126 แสดงโมเดลใบหน้าที่ได้จากการพิมพ์สามมิติที่ระบายสีทีละชั้นด้วยมือ และ กลไกการขยับหน้าตาและเปลี่ยนใบหน้าในแต่ละเฟรม.....	120
ภาพ 127 แสดงสตอปโมชันแอนิเมชันเรื่อง Anomalias.....	122
ภาพ 128 แสดงโครงสร้าง Joint สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์แอนิเมชัน	125
ภาพ 129 แสดง Face Armature	130
ภาพ 130 แสดง Face Armature for Uncle Creepy	131
ภาพ 131 แสดง Face Armature ที่ควบคุมด้วยสายเคเบิลและกล่องควบคุม	131
ภาพ 132 แสดงภาพบาสเก็ตบอลเบลอ.....	132
ภาพ 133 แสดงการควบคุมหุ่นโครงสร้างด้วยระบบหุ่นยนต์	133
ภาพ 134 แสดงขั้นตอนการประยุกต์ใช้สตอปโมชันในโลกเสมือนจริง	134
ภาพ 134 แสดงระยะเวลาและแผนการดำเนินงานวิจัย	145
ภาพ 135 เปรียบเทียบลักษณะของชายวัยกลางคนในแต่ละสัดส่วนที่แตกต่างกัน	151
ภาพ 136 กระบวนการออกแบบแบบวนซ้ำในการวิจัย 4 ครั้ง (Iterative Design Process)	184

บทที่ 1

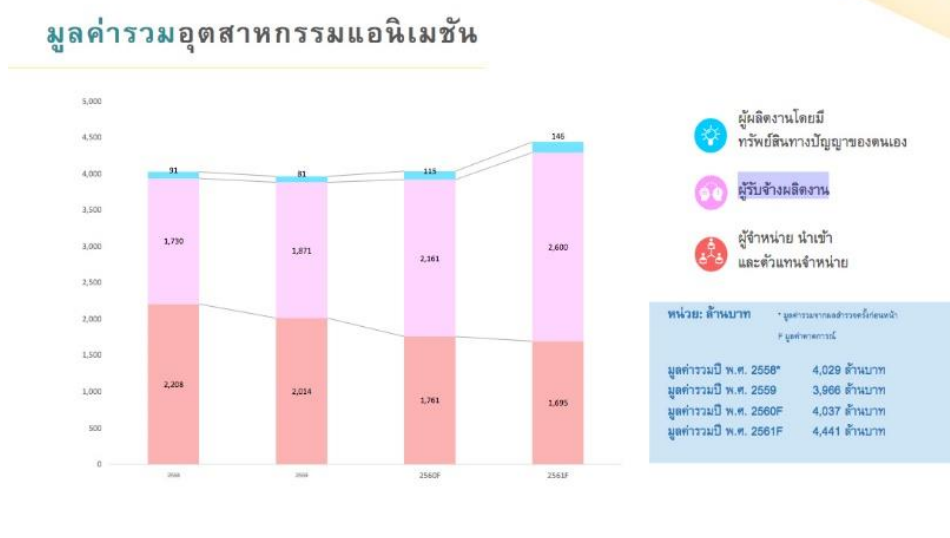
บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบัน (พ.ศ. 2562) ประเทศไทยได้เข้าสู่ยุค “ไทยแลนด์ 4.0” รัฐบาลมีการส่งเสริมและพัฒนาโครงสร้างทางเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรมเพื่อใช้ในการยกระดับศักยภาพของประเทศ กล่าวคือรัฐบาลต้องการผลักดันให้คนไทยมีการใช้ความคิดสร้างสรรค์เพื่อปรับรูปแบบการดำเนินชีวิตของประชากรให้ทันสมัยมากขึ้นผ่านทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถสร้างนวัตกรรมใหม่ๆมาประยุกต์ใช้กับวิถีชีวิตได้ ทั้งนี้รัฐบาลได้ให้ความสำคัญ กับ 6 กลุ่มเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเป้าหมาย ได้แก่ 1. กลุ่มอาหาร ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและไบโอเทค 2. กลุ่มสุขภาพ คือการมีสุขภาพที่ดีและไบโอเมดิซีน 3. Automation การใช้เครื่องจักรทำงานแทนคน หุ่นยนต์และเครื่องกล 4. อุปกรณ์ดิจิทัล Internet of things และ Embedded Technology 5. กลุ่มวัฒนธรรม การสร้างสรรค์ และการเพิ่มมูลค่าการบริการ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเศรษฐกิจนี้ถือเป็นจุดเปลี่ยนที่สำคัญที่จะเป็นแรงผลักดันให้ประเทศไทยต้องปรับตัวและมีการบริหารความเสี่ยง อย่างชาญฉลาดมากขึ้น มีการเพิ่มขีดความสามารถทางด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม ความคิดสร้างสรรค์ เพื่อให้เกิดเป็นทรัพย์สินทางปัญญา เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจและตอบสนองความต้องการของตลาดแรงงานทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เพื่อมุ่งสู่ “ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน” สอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจประเทศไทย 4.0 (ยุทธศาสตร์ชาติฉบับที่ 12)

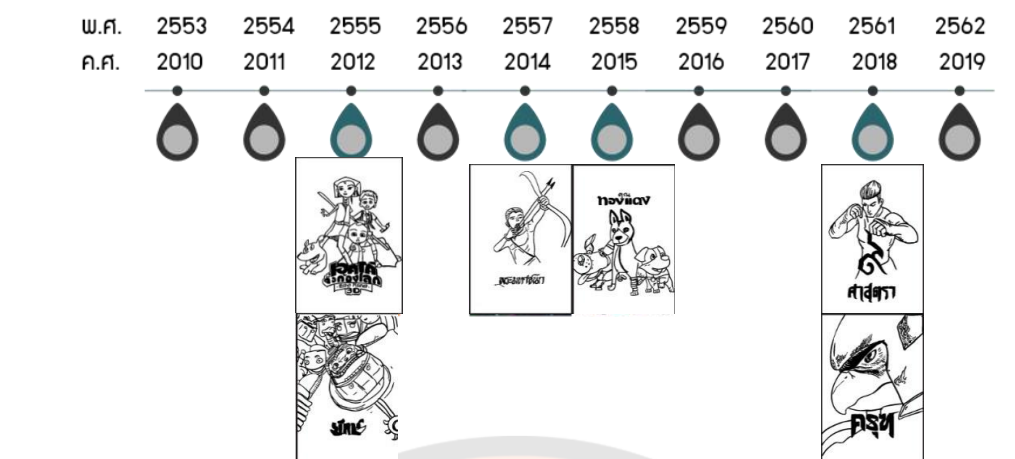
แอนิเมชันเป็นสื่อสร้างสรรค์ศิลปะแขนงที่ 7 ถูกพัฒนามาพร้อมกับภาพยนตร์ และเป็นประเภทสื่อสมัยใหม่ (New media) ภาพยนตร์แอนิเมชันถือว่าเป็นภาษาสากล ที่ได้รับความสนใจและมีอิทธิพลต่อเด็กและเยาวชนทั่วโลก ซึ่งประเทศไทยได้พัฒนารูปแบบการสร้างสรรคแอนิเมชันอย่างต่อเนื่อง ด้วยการส่งเสริมด้านการศึกษา โดยเปิดหลักสูตรการเรียนการสอนเกี่ยวกับแอนิเมชันทั่วทุกภาค เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์กรณ์ สำนักงานอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์แห่งชาติ (SIPA) มาเป็นสำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล หรือ DEPA เพื่อส่งเสริมให้ประเทศเกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมและนวัตกรรมดิจิทัล เกิดการนำเทคโนโลยีดิจิทัลไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และความมั่นคงของประเทศ (พระราชบัญญัติการพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม พ.ศ. 2560) สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล หรือ DEPA ได้สรุปผลการสำรวจมูลค่าทางอุตสาหกรรมด้านดิจิทัลคอนเทนต์ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แอนิเมชัน เกมส์ และ คาแรคเตอร์ อุตสาหกรรมด้านแอนิเมชันคาดการณ์ได้ว่าจะเติบโตขึ้นทุกปี โดยในปี 2559 มีการนำเข้าและผลิตแอนิเมชันเป็นจำนวน

มาก ทำให้มูลค่ารวมของปี พ.ศ. 2559 อยู่ที่ 3,966 ล้านบาท แบ่งเป็นมูลค่า ผู้ผลิตโดยมีทรัพย์สินทางปัญญา 81 ล้านบาท ผู้รับจ้างผลิตงาน 1,871 ล้านบาท และ ผู้จำหน่าย นำเข้า และตัวแทนจำหน่าย อีก 2,014 ล้านบาท และมีแนวโน้มเติบโตขึ้นอีกตามลำดับ



ภาพ 1 แสดงมูลค่ารวมอุตสาหกรรมแอนิเมชันปี 2558-2559 และคาดการณ์มูลค่าปี 2560-2561
ที่มา: สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล, 2559

จากภาพจะเห็นได้ว่าประเทศไทยยังต้องการผู้ผลิตแอนิเมชันที่เป็นเจ้าของทรัพย์สินทางปัญญาอีกมาก เนื่องจากทรัพยากรบุคคล และผู้มีความสามารถเชิงเทคนิคในการสร้างสรรค์งานแอนิเมชันสามารถรับจ้างผลิตผลงาน สร้างรายได้เป็นจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่าคนไทย มีความรู้ความสามารถด้านดิจิทัลและแอนิเมชันทัดเทียมกับต่างประเทศ



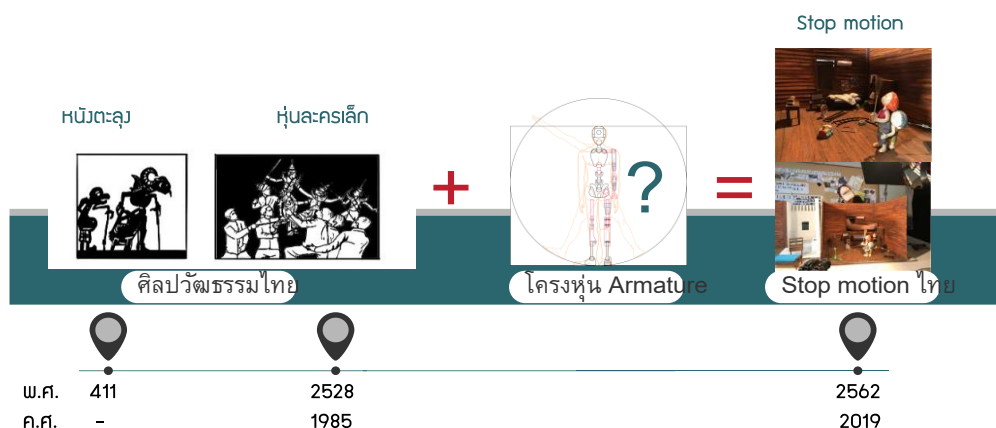
ภาพยนตร์แอนิเมชันของประเทศไทย

ภาพ 2 แสดงไทม์ไลน์ของแอนิเมชันไทย 10 ปีย้อนหลัง

ที่มา: นิภัตรา บุรีเพ็ญ, 2563

เมื่อมองย้อนกลับไป 10 ปี แอนิเมชันของไทย ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ได้ผลผลิตแอนิเมชันทั้งสิ้น 6 เรื่อง ด้วยกัน รูปแบบโปรแกรมดิจิทัลที่ใช้ในการผลิตแอนิเมชันในประเทศ ยังคงเป็นการนำเอาโปรแกรมจากต่างประเทศ และจ่ายค่าลิขสิทธิ์ให้กับต่างประเทศมากมาย อาทิเช่น ภาพยนตร์แอนิเมชันไทย เรื่อง ก้านกล้วย (พ.ศ. 2549), คุณทองแดง ดิ อินสไปเรชั่นส์ (พ.ศ.2558) และล่าสุด 9 ศาสตรา (พ.ศ. 2561) ภาพยนตร์ไทยเหล่านี้ใช้โปรแกรมผลิตแอนิเมชันประเภท 3D animation มีการใช้โปรแกรมผลิตในทุกขั้นตอนตั้งแต่ปั้นโมเดลตัวละคร ฉาก การจัดแสง ไปจนถึงถ่ายทอดออกมาเป็นภาพยนตร์ จึงทำให้ต้องใช้งบประมาณในการสร้างที่สูงมาก จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของผู้ผลิตแอนิเมชันที่เป็นเจ้าของทรัพย์สินทางปัญญามีจำนวนน้อย แอนิเมชันประเภทสตอปโมชัน จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้ต้นทุนและงบประมาณไม่มากนัก มีการผลิตโมเดลตัวละคร และฉากด้วยวัสดุที่หาได้ในประเทศ

นอกจากนี้สังคมไทยเป็นสังคมที่อุดมไปด้วยช่างฝีมือ ผู้ชำนาญทางด้านหัตถกรรมและมีการสร้างสรรค์งานแอนิเมชันในรูปแบบหุ่นเชิดมายาวนาน มีศิลปะที่เป็นเอกลักษณ์และวัฒนธรรมอยู่ในภูมิภาคต่างๆ อาทิ หนังตะลุงของภาคใต้ (พ.ศ. 2411) นาฏยศาลาหุ่นละครเล็ก หรือ โจหลุยส์ (พ.ศ. 2528) ฯลฯ ซึ่งสามารถใช้ความรู้เหล่านั้นมาประยุกต์ใช้ในการสร้างตัวละคร ฉาก ให้เป็นผลงานสตอปโมชัน ตลอดจนการถ่ายทำและจัดแสงโดยลดทอนการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ลง สามารถเป็นอีกหนึ่งหนทางในการกระจายรายได้และเศรษฐกิจให้กับภูมิภาค อีกทั้งยังเป็นสื่อในการส่งเสริมการเรียนรู้ด้านวิชาการประเภทสื่อแอนิเมชันให้กับเยาวชนได้ในงบประมาณที่ไม่แพงจนเกินไป

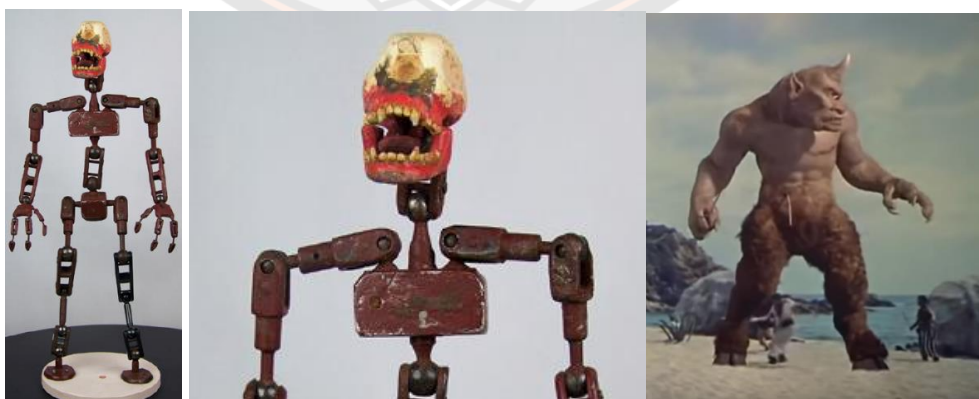


ภาพ 3 แสดง Time line ของศิลปะไทยและการนำมาประยุกต์ใช้กับสตอปโมชัน

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2562

งานผลิตสตอปโมชันถือเป็นผลงานสร้างสรรค์ศิลปะที่มีลักษณะเฉพาะทาง มีกลุ่มเป้าหมายเฉพาะกลุ่ม ซึ่งไม่เพียงแต่เสพย์ความเพลิดเพลินใจในภาพยนตร์เท่านั้น แต่ยังเสพย์ความงามทางศิลปะได้อีกด้วย เป็นการรวบรวมศิลปะหลายศาสตร์หลายแขนงไว้ในผลงานเดียว ไม่ว่าจะเป็น งานจิตรกรรม ประติมากรรม คีตศิลป์ วรรณกรรม สถาปัตยกรรม และ นาฏกรรม ถือเป็นงานศิลปะภาพเคลื่อนไหวที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ซึ่งต้องใช้ความรู้ความสามารถทางศิลปะเฉพาะทาง และความมานะอดทน ในการสร้างสรรค์ผลงาน ก่อให้เกิดคุณค่าทางด้านศิลปะขึ้น

โครงสร้างหุ่นที่ใช้ในการผลิตตัวละคร สำหรับ Stop motion Animation นั้น ได้มีการพัฒนาและสร้างสรรค์มาแล้วจากต่างประเทศ มีการผลิตคิดค้นต่อเนื่องมาตั้งแต่ยุคของ Ray Harryhausen (June 29, 1920 – May 7, 2013) ชาวอเมริกัน เขาเป็นผู้สร้างสรรค์ผลงานประเภท Stop motion ในยุคแรกๆ ตั้งแต่ ค.ศ.1949 เป็นต้นมา (ตรงกับ พ.ศ. 2537) โดยการสร้างสัตว์ประหลาดเพื่อประกอบฉากในภาพยนตร์



ภาพ 4 แสดง The Ray and Diana Harryhausen Foundation

ที่มา: Stop motion magazine, 2009, หน้า 68

และต่อมาจึงถูกพัฒนามาเป็น Stop motion Animation ในปัจจุบัน ซึ่งตัวละครใน Stop motion นั้น จะถูกออกแบบโดยมีโครงสร้างภายในเป็นแกนหลักเพื่อให้ตัวละครสามารถทรงตัวได้ ซึ่งโครงสร้างภายในนี้ เรียกว่า Armature หุ่นโครงสร้าง Armature ได้พัฒนารูปแบบมาจาก โครงลวดธรรมดาจนกลายเป็น โครงเหล็กที่แข็งแรง และถูกพัฒนาต่อยอดเพื่อให้เข้าถึงผู้บริโภคได้ง่ายขึ้น โดยการผลิตด้วยพลาสติกในระบบอุตสาหกรรม และขายในต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูงหากนำเข้าภายในประเทศ

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีใหม่ๆ ได้เข้ามามีบทบาทในการผลิตแอนิเมชันมากมาย โดยเฉพาะเทคนิคคอมพิวเตอร์กราฟิก (CG) ซึ่งให้ความสวยงาม และหวือหวา แต่ขาดซึ่งเสน่ห์แห่งความงามที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว และมีงบประมาณในการสร้างสูงมาก ทั้งด้านลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการผลิตแอนิเมชัน ซึ่งมีเพียงบริษัทใหญ่เท่านั้นจึงจะสร้างได้ ซึ่งแตกต่างจากสตอปโมชัน มีต้นทุนในการผลิตที่ถูกกว่า สามารถสร้างสรรค์งานออกมาได้ ด้วยฝีมือและซอฟต์แวร์ราคาถูก สามารถผลิตได้ในระดับมหาวิทยาลัย และภูมิภาคได้ แอนิเมชันประเภทสตอปโมชัน จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะสามารถสร้างผู้ประกอบการรายย่อยให้กับประเทศได้

ด้วยความเป็นมาที่กล่าวมาแล้วข้างต้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงการพัฒนาเทคนิคการสร้างหุ่น Armature เพื่อใช้ในการผลิตตัวละครสำหรับภาพยนตร์แอนิเมชัน ประเภท stop motion โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบโครงสร้าง Armature ให้มีรูปแบบที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ตลอดจนผลิตโครงสร้างต้นแบบ Armature เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการเคลื่อนไหว ให้เกิดเป็นผลผลิตทางด้านอุตสาหกรรมแอนิเมชัน ผลักดันให้เกิดการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของชาติต่อไป

คำถามการวิจัย

คำถามหลัก

1. พัฒนาหุ่น Armature อย่างไรให้มีประสิทธิภาพสำหรับตัวละครแอนิเมชันประเภทสตอปโมชันได้
 - คำถามย่อย
 1. หุ่น Armature ที่ใช้ในการผลิตแอนิเมชันประเภทสตอปโมชัน สามารถผลิตขึ้นได้ด้วยวิธีใด และจะวิเคราะห์โครงสร้างต่างๆ ของหุ่นได้อย่างไร
 2. หุ่น Armature ที่ใช้ในการผลิตแอนิเมชันประเภทสตอปโมชัน สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีใด
 3. สามารถอธิบายเทคนิคการสร้างหุ่น Armature ที่ใช้ในการผลิตแอนิเมชันประเภทสตอปโมชัน ได้ด้วยวิธีใด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างหุ่น Armature ที่ใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน

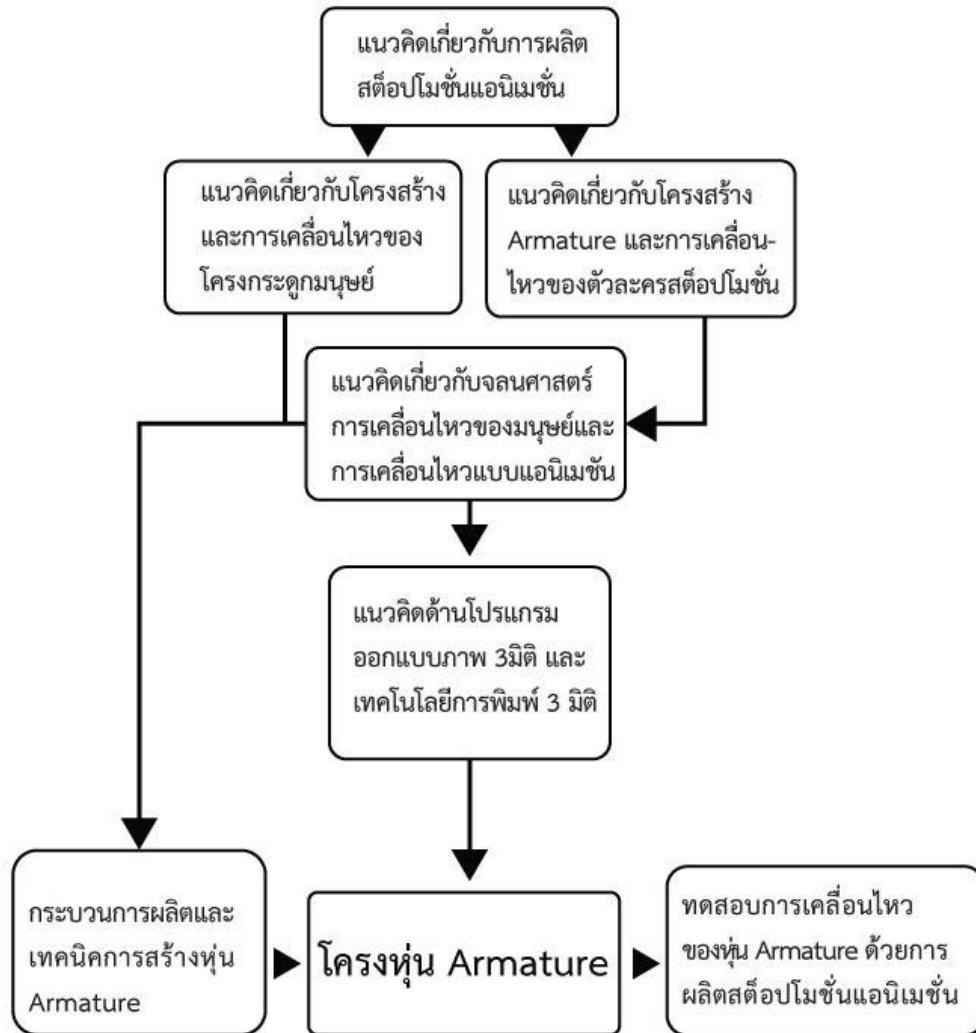
2. เพื่อออกแบบและสร้างสรรคหุ่่น Armature และนำไปใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน
3. เพื่อทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่่น Armature และสร้างสรรคผลงานแอนิเมชันสตอปโมชัน

กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นที่จะศึกษาโครงสร้างหุ่่น Armature ที่ผลิตจากต่างประเทศเป็นสำคัญ เพื่อนำมาวิเคราะห์โครงสร้างและออกแบบชิ้นใหม่ให้ตรงตามบุคลิกลักษณะของมนุษย์ชาวเอเชีย และชาวไทย โดยเปรียบเทียบจากการหาข้อมูลโครงสร้างกระดูกของมนุษย์ชาวเอเชีย เพื่อเทียบสัดส่วนและลดทอนให้เกิดเป็นโครงสร้าง สำหรับใช้ในการผลิตแอนิเมชันประเภทสตอปโมชัน เป็นสำคัญ โดยมีการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีต่างๆดังนี้

1. แนวคิดเกี่ยวกับการผลิตสตอปโมชันแอนิเมชัน
2. แนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างและการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกมนุษย์
3. แนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างArmature และการเคลื่อนไหวของตัวละครสตอปโมชัน
4. แนวคิดเกี่ยวกับจลนศาสตร์การเคลื่อนไหวของมนุษย์และการเคลื่อนไหวแบบอนิเมชัน
5. แนวคิดด้านโปรแกรมออกแบบภาพ 3 มิติ และการพิมพ์ 3 มิติ
6. การออกแบบและผลิตหุ่่นโครงสร้าง Armature
7. ต้นแบบของหุ่่นโครงสร้าง Armature
8. ทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่่นโครงสร้าง Armature และผลิตสตอปโมชันแอนิเมชัน

กรอบการเชื่อมโยงแนวคิดทฤษฎี



ภาพ 5 แสดงกรอบการเชื่อมโยงแนวคิดทฤษฎี

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2562

สมมติฐานของการวิจัย

หุ่นโครงสร้าง Armature สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปใช้ร่วมกับคาแรคเตอร์ด้วยเทคนิคสโตปโมชันได้

ขอบเขตการวิจัย

ข้อมูลต่างๆที่นำมาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสืบค้นเรื่องราวจากผลงานวิจัยและเอกสารสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหุ่น Armature ที่ใช้ในการผลิตแอนิเมชันประเภทสโตปโมชัน โดยมีขอบเขตในการศึกษาดังนี้

ขอบเขตด้านเนื้อหา

1. ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกมนุษย์ โดยศึกษาเฉพาะข้อต่อและการเคลื่อนไหวของมนุษย์
2. ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตสโตปโมชันแอนิเมชันโดยศึกษาเฉพาะโครงสร้างหุ่น Armature และสัดส่วน ของตัวละครหลักจากภาพยนตร์สโตปโมชันจำนวน 10 เรื่อง
3. ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้าง Armature เฉพาะเทคนิคและออกแบบโครงสร้างหุ่น Armature สำหรับผลิตตัวละครในแอนิเมชันประเภทสโตปโมชันเป็นสำคัญ โดยวิเคราะห์จากโครงสร้างหุ่น Armature จำนวน 12 รูปแบบ
4. ศึกษาเกี่ยวกับจลนศาสตร์การเคลื่อนไหวของมนุษย์เพื่อนำมาเทียบกับวัสดุที่สามารถทำให้เคลื่อนไหวได้ใกล้เคียงกับข้อต่อส่วนต่าง ๆ
5. ศึกษาการเคลื่อนไหวแบบอนิเมชัน ที่มีกฎการสร้างการเคลื่อนไหวจำนวน 12 ข้อ
6. ศึกษาด้านโปรแกรมออกแบบภาพ 3 มิติ และการพิมพ์ 3 มิติ รวมไปถึงวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์ 3 มิติ

ขอบเขตด้านกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ด้านประชากร

เสนอแนะเทคนิคการสร้างหุ่น Armature แก่ผู้ทรงคุณวุฒิด้วยการ Delphi 2 ครั้ง: ครั้งที่ 1 จำนวน 4 ท่าน และครั้งที่ 2 จำนวน 7 ท่าน

สร้างแอนิเมชันสโตปโมชัน โดยทดสอบจากโมเดลจำลองที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เท่านั้น

2. ด้านกลุ่มตัวอย่าง

วิเคราะห์รูปแบบหุ่นโครงสร้างจากภาพยนตร์ จำนวน 10 เรื่อง

ศึกษาเฉพาะการวิเคราะห์โครงสร้างหุ่น Armature จำนวน 12 ผลงาน

ทดสอบผลิตตามชิ้นงานตัวอย่าง ด้วยเทคนิคการพิมพ์ 3 มิติ จากเส้นพลาสติก PLA, ABS, TPU และ Resin เพื่อกำหนดโครงสร้าง สัดส่วน จำนวน 5 ตัวอย่าง

นำต้นแบบหุ่นโครงสร้าง Armature ทดสอบประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวด้วยเทคนิคสตอปโมชัน

ขอบเขตการออกแบบ

การออกแบบหุ่นโครงสร้าง Armature เพื่อให้ได้ผลตามเป้าหมายที่ได้ระบุไว้ในวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยผู้วิจัยมีข้อตกลงดังนี้

1. มุ่งเน้นเฉพาะการออกแบบหุ่น Armature จำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ Armature ตัวละคร 7 ส่วนครึ่ง, ตัวละคร 6 ส่วน, ตัวละคร 4 ส่วน, และ ตัวละคร 3 ส่วน
2. การผลิตและอธิบายเทคนิคการสร้างหุ่น Armature ผู้วิจัยได้เลือกใช้เฉพาะการทดลองพิมพ์ 3 มิติ เท่านั้น ซึ่งมีได้ลงรายละเอียดไปถึงวัสดุที่ใช้ให้เกิดความทนทานในระยะยาว
3. การเสนอแนะต้นแบบและเทคนิคการสร้างหุ่น Armature สามารถทำได้โดยการทดสอบจากโมเดลจำลองที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3D เท่านั้น ด้วยการสร้างสรรค์ผลงาน Stop motion ที่แสดงรายละเอียดการเคลื่อนไหวหุ่น Armature และนำเสนอแก่ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 7 ท่าน

คำสำคัญหรือคำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ตาราง 1 แสดงคำสำคัญหรือคำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย นิยามศัพท์เฉพาะและความหมาย

คำศัพท์	ความหมาย
การออกแบบ	สิ่งที่มนุษย์คิด ไตร่ตรอง จากความคิดสร้างสรรค์ ให้ปรากฏเป็นภาพวาด ภาพร่าง และผสมผสานต่อให้เกิดเป็นรูปทรงที่จับต้องได้ โดยมีความงามทางศิลปะมาเป็นส่วนประกอบ
หุ่น Armature	หุ่นโครงสร้าง Armature คือโครงสร้างหุ่นที่เลียนแบบเค้าโครงมาจากโครงกระดูกของมนุษย์และสัตว์ นำมาย่อส่วนเพื่อสะดวกต่อการผลิตเป็นภาพยนตร์แอนิเมชัน มีทั้งแบบโครงสร้างแบบ Skeleton ซึ่งเป็นโครงภายใน และห่อหุ้มด้วยวัสดุภายนอก เช่น ยางพาราสังเคราะห์ ดินน้ำมัน หรือ ซีลีโคน มาห่อหุ้มภายนอกเพื่อความสวยงาม และอีกแบบคือ เป็นโครงสร้างสำเร็จที่มีศีรษะและร่างกายเป็นหุ่นโดยไม่ต้องห่อหุ้มโครงสร้าง สามารถนำมาใช้ฝึกฝนเรียนรู้เกี่ยวกับการผลิตแอนิเมชัน
สตอปโมชันแอนิเมชัน	การสร้างแอนิเมชันโดยผ่านภาพถ่ายทีละภาพให้เกิดการเคลื่อนไหว โดยการนำภาพที่ผ่านกระบวนการสร้างสรรค์มาฉายต่อกันอย่างรวดเร็ว จำนวน 25 - 30 ภาพ ต่อ 1 วินาที การฉายภาพต่อเนื่องกัน

คำศัพท์
ความหมาย

ด้วยความเร็วนั้นจะเกิดเป็นภาพติดตา ทำให้สิ่งที่มองเห็นเกิดการเคลื่อนไหว สามารถผลิตได้หลายรูปแบบ ได้แก่

1. เคลย์แอนิเมชัน (Clay animation) หรือ เคลย์เมชัน (claymation) คือ แอนิเมชันที่ใช้หุ่น หรือรูปทรง ซึ่งทำจากดิน น้ำมัน ขี้ผึ้ง หรือวัสดุใกล้เคียง โดยใส่โครงลวดไว้ข้างในเพื่อให้ตัดทำทางได้ แล้วเคลื่อนไหวไปที่ละท่าทางตามต้องการ เมื่อนำภาพถ่ายทั้งหมดมาเรียงเป็นเฟรมต่อกัน จะเกิดภาพเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่อง

2. คัตเอาต์แอนิเมชัน (Cutout animation) คือ การนำวัสดุสองมิติ เช่น กระดาษ หรือผ้า มาตัดเป็นรูปต่าง ๆ แล้วนำมาขยับเพื่อถ่ายเก็บไว้ที่ละเฟรม แล้วนำเฟรมมาต่อกัน เล่าเป็นเรื่องราวตามหัวข้อที่กำหนด แต่ปัจจุบันสามารถวาดหรือสแกนภาพเข้าไปขยับในคอมพิวเตอร์ได้

3. หุ่นกระบอก หรือโมเดลแอนิเมชัน (Puppet or Model animation) คือ การทำตัวละครเป็นโมเดลขึ้นมาขยับร่วมกับวัตถุอื่น อาจมีการซ้อนภาพเข้ากับฉากที่มีคนแสดงจริง และภาพพื้นเสมือนจริงก็ได้

4. พิกซิลเลชัน (Pixilation) คือ การใช้คนจริงมาขยับท่าทางเพื่อแสดงการเคลื่อนไหว แล้วถ่ายเก็บไว้ทีละภาพ ทีละเฟรม แล้วนำมาฉายต่อเนื่องกันให้เห็นถึงการเคลื่อนไหวของคนอย่างไร้หลอ

5. แอนิเมชันกับวัตถุ (Object animation) คือ การนำวัตถุที่ไม่สามารถดัดแปลงรูปร่างหน้าตาแบบดินเหนียว มาเป็นองค์ประกอบหลักในการสร้างภาพ เช่น ของเล่น หุ่น ตุ๊กตา หรือตัวต่อเลโก้

6. แอนิเมชันเงาของแสง (Silhouette animation) คือ การแสดงให้เห็นวัตถุผ่านเงา อาจสร้างวัตถุจากกระดาษ แล้วนำมาบังแสงเพื่อให้ได้เงาที่ต้องการ อาจใช้วิธีอื่นก็ได้ ซึ่งเป็นแนวคิดที่ปรับจากการแสดงด้วยเงาคัลล์หนังตะลุง หรือหนังเงา

คำศัพท์	ความหมาย
แอนิเมชัน	<p>การทำให้ภาพการ์ตูนเคลื่อนไหวได้ ผ่านกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ มีการผสมผสานระหว่างแสงและเสียง ประกอบเป็นเรื่องราว ให้ผู้รับชมเกิดความเข้าใจในเนื้อหา โดยเฉพาะกลุ่มผู้เยาว์ กระบวนการสร้างสรรค์ประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pre-Production คือ ขั้นตอนเริ่มต้นของการผลิต มีการวาง concept การกำหนดโทนสี mood and tone การเขียนบท และการวาดสตอรี่บอร์ด 2. Production คือกระบวนการผลิตตามรูปแบบที่กำหนดไว้ อาทิเช่น 2D แอนิเมชัน จะมีการวาดการเคลื่อนไหวของตัวละคร วาดฉากทุกฉากในเรื่องตั้งแต่ต้นจนจบเรื่อง 3D แอนิเมชัน จะมีการปั้นโมเดลตัวละคร ปั้นโมเดลฉากต่างๆ ทำการเคลื่อนไหวตัวละคร และฉากตามสตอรี่บอร์ดกำหนด 3. Post-Production คือการนำภาพสำเร็จมาผนวกเข้ากับเสียงพากย์ และเสียงเพลง ตัดต่อให้เกิดเรื่องราว ตามระยะเวลาที่กำหนด
คาร์แรคเตอร์ในแอนิเมชัน	<p>คน พืช สัตว์ หรือสิ่งของ ที่ถูกออกแบบ ตัดทอนสร้างสรรค์ใหม่ จากต้นแบบที่มีอยู่จริง ทำให้มีชีวิตและเรื่องราวที่สมมติขึ้น ใช้แทนความรู้สึกนึกคิดของมนุษย์เพื่อให้เข้าใจง่ายและลดทอนความรู้สึกที่รุนแรง มีสีสันทันที่ถูกต้องตามคุณลักษณะตัวบทบาทที่ได้รับ ตัวละครสามารถแบ่งตามบทบาท ที่ผู้แต่งบทละครกำหนดให้เป็น เช่น ตัวเอก, ตัวร้าย, และตัวประกอบ เป็นต้น ซึ่งล้วนแต่มีบทบาทในการดำเนินเรื่องทั้งสิ้น</p>

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ด้านต้นแบบหุ่นโครงสร้าง Armature สำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชันที่มีคุณภาพ
2. ได้วิธีการผลิตและข้อเสนอแนะทางเทคนิคในการสร้างหุ่นโครงสร้าง Armature เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานแอนิเมชันแบบสตอปโมชันได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ด้านเอกสาร ได้ศึกษาแนวความคิดและทฤษฎีต่างๆ เพื่อให้ตรงวัตถุประสงค์ของการวิจัยโดยแบ่งตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

ตาราง 2 แสดงการศึกษาเอกสารและอ้างอิงตามวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	การศึกษาเอกสาร
1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างหุ่น Armature ที่ใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน	1.1 ศึกษาเกี่ยวกับหลักการออกแบบ 1.2 ศึกษาเกี่ยวกับกระดูกมนุษย์ - ด้านโครงสร้างกระดูก - ด้านสัดส่วนของร่างกาย - ด้านข้อต่อและการเคลื่อนไหว 1.3 ศึกษาเกี่ยวกับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน - รูปแบบของตัวละครสตอปโมชันแอนิเมชัน - ด้านสัดส่วนตัวละครสตอปโมชันแอนิเมชัน
2. เพื่อออกแบบและสร้างสรรค์หุ่น Armature และนำไปใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน	2.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับหลักการออกแบบ 2.2 ศึกษาเกี่ยวกับหุ่นโครงสร้าง Armature ที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรม จำนวน 12 แบบ - การแบ่งประเภทของ Armature ตามรูปแบบการใช้งาน - วิเคราะห์การออกแบบ รูปร่าง รูปทรง - วิเคราะห์วัสดุที่ใช้ - ศึกษาด้านการประกอบโครงสร้าง Armature 2.3 ศึกษาเกี่ยวกับจลนศาสตร์การเคลื่อนไหว หรือ Kinematics ได้แก่ - ข้อต่อ Universal Joint - หลักการยืด-ขยาย ขนาดของโครงสร้างวัตถุ - ความสมดุลของโครงสร้าง

วัตถุประสงค์	การศึกษาเอกสาร
3. เพื่อทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่น Armature และสร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชันสตอปโมชัน	<p>3.1 ศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูป 3 มิติ และพิมพ์ 3 มิติ</p> <ul style="list-style-type: none"> - โปรแกรม 3 มิติ Solid work - เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ได้แก่ - เครื่องพิมพ์พลาสติก FDM (Fused Deposition Modeling) และเครื่องพิมพ์เรซิน SLA (Stereolithography) <p>3.2 ศึกษาด้านวิธีการผลิตสตอปโมชันแอนิเมชัน</p> <ul style="list-style-type: none"> - การเคลื่อนไหวของตัวละคร - การประกอบชิ้นส่วน Armature เพื่อใช้กับตัวละคร

2.1 หลักการออกแบบ

2.1.1 ความหมายของการออกแบบ

คำว่า การออกแบบ มีนิยามอยู่หลายความหมาย ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าจากเอกสารและหนังสือหลายเล่ม สามารถแบ่งความหมายของคำว่า ออกแบบ ได้ดังนี้

Holmes (1934) กล่าวว่า การออกแบบคือ การจัดระเบียบหรือวางผังอย่างตั้งใจสำหรับที่ว่างตามจุดมุ่งหมายที่กำหนด

Jonees (1962) การออกแบบคือ การเสนอแนะเกี่ยวกับความเปลี่ยนแปลงในสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น

Archer (1997) การออกแบบคือ การสร้างความคิดให้เกิดรูปทรง

Gasson (1974) การออกแบบคือ การคิดค้นข้ามสาขาวิชา เพื่อความต้องการของตนเองและเพื่อผู้อื่น

Archer (1976) การออกแบบคือ สาขาที่รวมเอาความชำนาญ ประสบการณ์และความรู้โดยสะท้อนถึงการต้องการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม ให้เป็นไปตามความต้องการของวัตถุและจิตใจ ซึ่งเกี่ยวกับการจัดองค์ประกอบ ความหมาย คุณค่า ที่มนุษย์กำหนดขึ้น

Sparke (1987) การออกแบบคือ การคิดที่ซับซ้อน เป็นทั้งกระบวนการและ ผลลัพธ์ของกระบวนการในลักษณะเป็นรูปร่าง รูปแบบ และรูปทรงของสิ่งที่ออกแบบขึ้นมา

นวนลน้อย บุญวงศ์ (2542) การออกแบบคือสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นเท่านั้น เป็นการพยายามสร้างให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีจุดหมายที่จะแก้ปัญหาและสร้างประโยชน์เพื่อตัวเองและผู้อื่น คุณสมบัติของนักออกแบบ ต้องเป็นผู้มีความรู้ ความชำนาญ มีประสบการณ์ และที่สำคัญคือต้องมีความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการ

การออกแบบ หมายถึง การสร้างสรรค์สิ่งใหม่ หรือปรับปรุงดัดแปลงสิ่งที่มีอยู่ให้ดีขึ้น และมีรูปแบบที่เปลี่ยนไปจากเดิม การถ่ายทอดรูปแบบจากความคิดออกมาเป็นผลงาน ที่ผู้อื่นสามารถมองเห็น รับรู้ หรือสัมผัสได้ (Brinkemper, S., 1996)

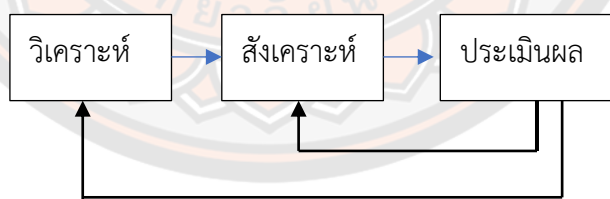
เมื่อได้พิจารณาถึงความหมายของคำว่า ออกแบบ ผู้วิจัยจึงได้เรียบเรียงเป็นความหมายโดยสรุปว่า การออกแบบคือ สิ่งที่มนุษย์คิด ไตร่ตรอง จากความคิดสร้างสรรค์ ให้ปรากฏเป็นภาพวาด ภาพร่าง และผลงานต่อให้เกิดเป็นรูปทรงที่จับต้องได้ โดยมีความงามทางศิลปะมาเป็นส่วนประกอบ

2.1.2 กระบวนการออกแบบ

กระบวนการออกแบบ คือการทำงานอย่างมีแบบแผนและขั้นตอน โดยมีลักษณะการกระจายขั้นตอนออกเป็นข้อย่อยๆ เพื่อให้ผู้ออกแบบไม่หลงทาง และรับรู้ถึงเป้าหมายที่ได้วางแผนไว้ โดยกระบวนการออกแบบสามารถยึดแนวทางตามแบบแผนของนักออกแบบในอดีต ซึ่งได้ทำการคิดค้น และไตร่ตรองมาแล้ว เราสามารถวิเคราะห์และปฏิบัติตามได้ ซึ่งหลักการทั้งหมดล้วนมีจุดหมายปลายทางไปในแนวทางเดียวกัน (อ้างถึงใน นवलน้อย บุญวงศ์, 2542) ดังนี้

Nigel Cross (1984) กล่าวว่าวิธีการแบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ข้อหลักๆ ได้แก่

1. การวิเคราะห์ (Analysis) คือการนำข้อมูลที่มีผลต่อการออกแบบ มาทำการแยกแยะและเชื่อมโยงความสัมพันธ์เพื่อสรุปผลรวบยอดให้ตรงตามเป้าหมายของการออกแบบ
2. การประเมินผล (Evaluation) คือการนำข้อมูลที่ได้มาสังเคราะห์เพื่อเลือกหาวิธีที่เป็นไปได้ในการออกแบบ โดย มีขั้นตอนย่อยๆ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และการประเมินผล



ซึ่งทั้งสามส่วนนี้มีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ เมื่อทำการประเมินผลการออกแบบแล้ว ยังไม่เป็นที่พอใจตามเป้าหมาย หรือพบข้อผิดพลาดในการออกแบบ สามารถย้อนกลับมาวิเคราะห์ หรือสังเคราะห์ได้ใหม่เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาด นำไปสู่เป้าหมายการออกแบบที่ตรงตามความต้องการของทุกฝ่าย

Don Koberg และ Jim Bagnall (1976) กล่าวว่า กระบวนการออกแบบควรแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. เตรียมรับสภาพ (Accept Situation) เมื่อได้รับปัญหาในการออกแบบ ก่อนที่จะเริ่มต้นนักออกแบบต้องสำรวจตนเองก่อนเพื่อตรวจสอบความพร้อมของตนเองเช่น ความรู้ ความสามารถ ประสบการณ์ และความสนใจในงานนั้นๆ
2. การวิเคราะห์ (Analyse) คือการรวบรวมข้อมูลขั้นพื้นฐาน และแบ่งส่วน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อเท็จจริงใหม่ เพื่อนำมาใช้แก้โจทย์ที่จะออกแบบต่อไป
3. การจำกัดขอบเขต (Define) นักออกแบบจำเป็นจะต้องตีปัญหาให้ออกเพื่อตั้งวัตถุประสงค์ให้รู้แน่ชัดว่าจะต้องทำอะไรบ้าง
4. คิดค้นการออกแบบ (Ideate) เป็นการใช้ความคิดสร้างสรรค์ เพื่อมองหาแนวทางหลายๆ อย่าง มองหาแนวทางใหม่ๆ มาแก้ปัญหาให้ประสบผลสำเร็จ
5. คัดเลือก (Select) คือการเลือกแนวทางที่คิดว่าดีที่สุด มีการเปรียบเทียบและนำแนวทางที่ง่ายที่สุด มาวางแผนอย่างมีขั้นตอน เพื่อให้ได้ผลงานที่ดีที่สุด
6. การพัฒนาแบบ (Implement) คือการสร้างสรรค์ประดิษฐ์คิดค้น ตลอดจนปรับปรุงผลงาน เพื่อให้ได้ผลงานที่สมบูรณ์ที่สุด
7. การประเมินผล (Evaluate) เป็นการนำผลงานที่ออกแบบมาทบทวนว่าผลที่ได้ตอบโจทย์มากเพียงใด มีการวิจารณ์อย่างตรงไปตรงมาและอย่างมีหลักเกณฑ์เพื่อหาข้อบกพร่องทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ หากพบข้อผิดพลาดและต้องทำอีกครั้ง เราจะต้องมีการพัฒนาไปในทิศทางใด

นวนน้อย บุญวงศ์ (2542) กล่าวว่า กระบวนการออกแบบแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน ได้แก่

1. การกำหนดขอบเขตของปัญหา (Identification of the problem) คือการนำโจทย์หรือปัญหาที่ได้รับในการออกแบบ มาศึกษา และกำหนด
2. การค้นคว้าหาข้อมูล (Information) คือการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบ นำมาจำแนกใหม่ให้สัมพันธ์กับปัญหา ข้อมูลที่ดีจะช่วยให้บรรลุเป้าหมายในการออกแบบ
3. การวิเคราะห์ (Analysis) คือการแยกแยะข้อมูล เปรียบเทียบ และโยงความสัมพันธ์ ผลของการวิเคราะห์จะเกิดทางเลือกที่นำไปสู่การแก้ปัญหา
4. การสร้างแนวความคิดหลัก (Conceptual Design) การสร้างสรรค์แนวความคิดหลักในการออกแบบสามารถแก้ปัญหาที่สำคัญได้อย่างตรงประเด็นและครอบคลุมถึงการแก้ปัญหาย่อย และแนวความคิดหลักสามารถสร้างได้ใหม่ในทุกขั้นตอนที่ออกแบบ เมื่อเจอปัญหาในระหว่างทางสามารถกำหนดแนวความคิดลงไปเรื่อย ๆ เพื่อให้การออกแบบได้ลึกลงไปและมีความแปลกใหม่และชัดเจนมากขึ้น

5. การออกแบบร่าง (Preliminary Design) คือการนำแนวความคิดหลักที่ยังเป็นนามธรรมมาร่างแบบ 2 มิติ หรือ 3 มิติ ให้กลายเป็นรูปธรรม แบบร่างควรมีจำนวนมากและมีความแตกต่างกันหลายรูปแบบ พร้อมทั้งอธิบายหลักการและความเห็นของผู้ออกแบบ
6. การคัดเลือก (Selection) คือการนำแบบร่างมาเปรียบเทียบโยใช้เกณฑ์เดียวกันกับการวิเคราะห์ เพื่อคัดเลือกแบบที่เหมาะสมที่สุด และเป็นไปได้ที่จะผลิตได้จริง
7. การออกแบบรายละเอียด (Detail Design) คือการนำแบบที่ได้คัดเลือกมาแล้วมาพัฒนาต่อผู้ออกแบบจำเป็นต้องใส่ใจรายละเอียดในขณะที่ร่างแบบ เพราะมีความสำคัญต่อแบบที่สร้างขึ้นมา ซึ่งจะมีคุณค่าหรือไม่ขึ้นอยู่กับขั้นตอนนี้
8. การประเมินผล (Evaluation) คือการนำแบบทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ มาทำการประเมินผลงานว่ามีความถูกต้องหรือไม่ ครอบคลุมตามของเขตและจุดมุ่งหมายไว้มากเพียงใด การประเมินผลช่วยให้รู้ถึงคุณภาพของชิ้นงาน และต้นทุนการผลิต ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนจะผลิตจริง เมื่อนำทั้ง 3 ประเด็นมาเปรียบเทียบกัน ล้วนมีความใกล้เคียงกันอย่างยิ่ง ทั้ง 3 ประเด็นมีจุดเริ่มต้นและปลายทางเดียวกัน กล่าวคือ เริ่มจากค้นหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบก่อน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ข้อมูล และนำมาจำแนกเพื่อหาข้อมูลที่แม่นยำที่สุด เพื่อนำไปสู่การร่างแบบที่ตรงประเด็นปัญหา มีการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาต่อยอด จนกว่าจะบรรลุวัตถุประสงค์ จากนั้นจึงจบขั้นตอนการออกแบบด้วยการประเมินผลงาน ซึ่งทั้งสามประเด็นหลักมีปลายทางที่ตรงกัน

2.1.3 ผลของการออกแบบ

นวนน้อย บุญวงศ์ (2542) ได้กล่าวว่า หลังจากนำเอาความคิดสร้างสรรค์มาดัดแปลง ประยุกต์ให้เกิดเป็นผลงานออกแบบแล้ว เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของผลงานพบว่า ระดับของการคิดสร้างสรรค์แบ่งออกได้ 4 ประเภท ได้แก่

1. การค้นพบสิ่งใหม่ (Discovery) เป็นสิ่งใหม่ที่ไม่เคยมีใครค้นพบมาก่อน ซึ่งการออกแบบในปัจจุบันจะพบงานประเภทนี้ได้ยาก เนื่องจากผลงานต่าง ๆ ล้วนพัฒนามาจากข้อบกพร่องของงานออกแบบเดิม
2. การคิดค้นนวัตกรรมใหม่ (Innovation) คือการนำเอาหลักการหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์สร้างสรรค์เป็นงานออกแบบ เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่คนหมู่มาก เช่น กังหันน้ำชัยพัฒนา แผงโซลาร์เซลล์ เป็นต้น
3. การสังเคราะห์ใหม่ (Synthesis) เป็นการนำผลงานต่างๆที่มีอยู่เดิมมาสังเคราะห์และออกแบบขึ้นเป็นสิ่งใหม่ ซึ่งจะพบงานออกแบบลักษณะนี้อยู่มากมาย เช่น โทรศัพท์มือถือที่เปลี่ยนจากการใช้เสียง เป็นแบบเห็นภาพ เทคโนโลยีการผลิตแอนิเมชันจาก 2D เป็น 3D กล้องถ่ายภาพ จากฟิล์มเป็นระบบดิจิทัล เป็นต้น

4. การดัดแปลงใหม่ (Mutation) เป็นผลงานที่เป็นประเภทเดียวกันแต่มีความแตกต่างกัน ด้านรูปลักษณ์ ด้านภาษาบรรจุ ด้านสีสันทและลวดลาย ซึ่งเกิดจากการแข่งขันทางการค้า ซึ่งนักออกแบบต้องสร้างสรรค์ชิ้นงานประเภทเดิม แต่เพิ่มความแปลกใหม่เพื่อเอาชนะคู่แข่ง เมื่อได้ข้อเปรียบเทียบระดับความคิดสร้างสรรค์ของผลงานแล้ว หน่วยงาน Armature ที่ผู้วิจัยทำการออกแบบและพัฒนานั้นมีแนวทางมาจากข้อที่ 4 ซึ่งจะพัฒนาให้แตกต่างจากผู้ผลิตอื่น ๆ

2.2. โครงสร้างของร่างกายและกระดูกมนุษย์

การออกแบบหุ่น Armature จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาสรีระร่างกายและโครงสร้างของกระดูกมนุษย์เป็นหลัก เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบ Armature ให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยได้สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับโครงกระดูก ดังต่อไปนี้

- ด้านโครงสร้างกระดูก
- ด้านสัดส่วนของร่างกาย
- ด้านข้อต่อและการเคลื่อนไหว

2.2.1 โครงสร้างของร่างกายและกระดูกมนุษย์

ในการศึกษากายวิภาคเกี่ยวกับมนุษย์นั้น เราแบ่งเผ่าพันธุ์มนุษย์เป็นเผ่าพันธุ์ใหญ่ๆ ได้เป็น 3 กลุ่ม โดยที่มองเห็นความแตกต่างระหว่างเผ่าพันธุ์ได้ชัดเจน แต่มีทฤษฎีบางอย่างแบ่งเผ่าพันธุ์มนุษย์ออกไปมากกว่านี้อีกโดยแยกแยะได้อย่างละเอียด แต่ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจน เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปนั้น แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยแบ่งออกตามโครงสร้างกระดูก สีผิว สีของนัยน์ตา สีและลักษณะเส้นผม บางตำราแบ่งตามลักษณะกลุ่มเลือด ถึง 6 กลุ่มด้วยกันคือ นีกรอยด์ ออสตราลอยด์ เมดิเตอร์เรเนียน อัลไพน์ นอร์ดิกและมองโกลอยด์ๆ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะกลุ่มใหญ่ 3 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มคอเคเซียน (CAUCASIAN) คือ กลุ่มพวกชนผิวขาวอาจรวมเรียกว่าพวก ยูโรเปียน (EUROPIAN) เป็นส่วนใหญ่ มีลักษณะพิเศษประจำกลุ่มคือ รูปร่างสูงใหญ่ ผมสีทอง สีเทา ตาสีฟ้า โครงสร้างกะโหลกศีรษะเป็นรูปไข่ โหนกแก้มต่ำ จมูกโด่ง คางใหญ่ ลักษณะเส้นผมด้านตัดจะเป็นรูปไข่
2. กลุ่มมองโกลีเยน (MOMGOLIAN) คือ ชนผิวเหลืองพวกนี้เป็นชนเผ่าใหญ่ที่สุดในเอเชีย เช่น จีน ญี่ปุ่น มองโกลีเยน ทางตะวันออกเฉียงใต้เช่น พม่า มาเลย์ ไทย รวมทั้งอินเดียนแดง และแอสกีโมด้วย กลุ่มนี้มีลักษณะพิเศษคือ กะโหลกค่อนข้างกลม โหนกแก้มสูง จมูกเล็ก ค่อนข้างเตี้ย ผมดำ ตาดำ ด้านตัดของเส้นผมมีลักษณะค่อนข้างกลม
3. กลุ่มเอธิโอเปีย (ETHIOPIAN) คือ กลุ่มผิวดำกลุ่มนี้เดิมมีในอาฟริกา หรือหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิกบางแห่ง ในตะวันออกไกลมีบ้าง ลักษณะประจำเผ่าคือ ผิวดำ ผม

หยิกเป็นขมวดกอดกระชับศีรษะ ลักษณะของเส้นผมจะค่อนข้างแบน ตะโพยู่ บาง พวกโปนออกมาเห็นได้ชัด ริมฝีปากหนา จมูกแบน แขนขาช่วงล่างยาวกว่าปกติ

จำนวนกระดูก

(NUMBER OF BONE)

โครงสร้างกระดูกมนุษย์นั้น ในขณะที่เรายังเป็นทารกในครรภ์มารดาอาจมีมากถึง 800 ชิ้น ครั้นเจริญเติบโตเป็นผู้ใหญ่แล้ว กระดูกเหล่านั้นจะต่อเนื่องกันบ้าง จนกลายเป็นชิ้นเดียว จนเหลือเพียง 206 ชิ้นเท่านั้น (ไม่รวมถึง SESAMOID ซึ่งเกิดใน TENDON ของกล้ามเนื้อที่อยู่ตามข้อเท้าและข้อมือ) ในจำนวน 206 ชิ้นดังกล่าวเราแยกออกได้ดังนี้

กะโหลกศีรษะ ส่วนสมอง (CRANIUM)	8	ชิ้น
กระดูกส่วนใบหน้า (FACE)	14	ชิ้น
กระดูกส่วนหู (EAR) มี		
- กระดูกรูปค้อน (MALLEUS)	2	ชิ้น
- กระดูกรูปทั่ง (INCUS)	2	ชิ้น
- กระดูกรูปโกลนม้า (STAPES)	2	ชิ้น
กระดูกโคนลิ้น (HYOID BONE)	1	ชิ้น
กระดูกสันหลัง (SPINE หรือ VERTEBRAL COLUMN)		
รวมทั้งกระเบนเหน็บ (SCAPULUM) และก้นกบ (COCCYX)	26	ชิ้น
กระดูกหน้าอก (STERNUM)	1	ชิ้น
กระดูกซี่โครง (RIBS)	24	ชิ้น
กระดูกแขน (UPPER EXTERMITTY)	64	ชิ้น
กระดูกขา (LOWER EXTERMITTY)	62	ชิ้น
รวม	206	ชิ้น

กระดูกส่วนแขน-ขา จะสังเกตว่ามีจำนวนมากกว่าส่วนใด ๆ เพราะรวมถึงกระดูกนิ้วมือ-เท้าด้วย

ประเภทต่าง ๆ ของกระดูก

(CLASSIFICATION OF BONE)

กระดูกต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นโครงสร้างนั้น ประกอบด้วยรูปร่างลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการเคลื่อนไหวและรูปร่าง และเพื่อสะดวกในการทรงตัว โดยจะทำงานสอดคล้องสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี จึงได้แบ่งกระดูกออกตามลักษณะได้ 4 ชนิดคือ

1. กระดูกชนิดยาว (LONG BONE)

หน้าที่ของกระดูกประเภทนี้ ส่วนใหญ่สำหรับรับน้ำหนักของร่างกาย และเพื่อการเคลื่อนไหว ตอนปลายทั้งสองข้างของกระดูกค่อนข้างใหญ่สำหรับให้ LIGAMENT และ TENDON ของกล้ามเนื้อเกาะมีจำนวน 90 ชิ้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1.1 ชนิดยาวใหญ่ (LONG BONE) ได้แก่	2	ชิ้น
กระดูกไหปลาร้า (CLAVICLE)	2	ชิ้น
กระดูกต้นแขน (HUMERUS)	2	ชิ้น
กระดูกปลายแขนอันที่เป็นข้อมือ (RADIUS)	2	ชิ้น
กระดูกปลายแขนอันที่เป็นข้อศอก (ULNA)	2	ชิ้น
กระดูกต้นขา (FEMUR)	2	ชิ้น
กระดูกหน้าแข้ง (TIBIA)	2	ชิ้น
กระดูกน่อง (FIBULA)	2	ชิ้น
1.2 ชนิดยาวขนาดเล็ก (MINITURE LONG BONE) ได้แก่		
กระดูกฝ่ามือ (META CARPUS)	10	ชิ้น
กระดูกฝ่าเท้า (META TARSUS)	10	ชิ้น
กระดูกนิ้วมือ ทั้งเท้า (PHALANGES)	52	ชิ้น

2. กระดูกชนิดแบน (FLAT BONE)

หน้าที่ของกระดูกชนิดนี้คือ ปกป้องอวัยวะภายในส่วนต่าง ๆ มีจำนวน 38 ชิ้น แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

2.1. กระดูกชนิดแบนเป็นแผ่น ได้แก่

กระดูกท้ายทอย (OCCIPITAL)	1	ชิ้น
กระดูกข้างศีรษะ (PARIETAL)	2	ชิ้น
กระดูกหน้าผาก (FRONTAL)	1	ชิ้น
กระดูกสันจมูก (NASAL)	2	ชิ้น
กระดูกกั้นช่องจมูก (VOMER)	1	ชิ้น
กระดูกถุงน้ำตา (LACRIMAL)	2	ชิ้น
กระดูกสะบัก (SCAPPULA)	2	ชิ้น
กระดูกสะโพก (HIP)	2	ชิ้น

2.2. กระดูกแบนชนิดยาว ได้แก่

กระดูกหน้าอก (STERNUM)	2	ชิ้น
กระดูกซี่โครง (RIBS)	24	ชิ้น

3. **กระดูกชนิดเป็นแท่งเหลี่ยม (CUBIC BONE หรือ SHOT BONE)** มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมอยู่กันเป็นกลุ่ม มีขนาดต่างๆ กัน อยู่ตามส่วนที่ต้องออกแรงมากมีจำนวน 32 ชิ้นคือ

กระดูกข้อมือ (CARPUS)	16	ชิ้น
กระดูกข้อเท้า (TARSUS)	14	ชิ้น
กระดูกสะบ้า (PATELLA)	2	ชิ้น

4. **กระดูกชนิดรูปร่างแปลก (IRREGULAR BONES)** กระดูกชนิดนี้รูปร่างแยกเป็นพวกหนึ่งต่างหาก ไม่เหมือนกับชนิดอื่นใด เพราะรูปร่างเป็นสามเหลี่ยม, มีแฉก, มีช่องโค้งไปมามาก มี 46 ชิ้น คือ

กระดูกสันหลัง (VERTEBRAL COLUMN)	24	ชิ้น
กระดูกกระเบนเหน็บ (SACRUM)	1	ชิ้น
กระดูกก้นกบ (COCCYX)	1	ชิ้น
กระดูกขมับ (TEMPORAL)	2	ชิ้น
กระดูกรูปปีกผีเสื้อ (SPENOID)	1	ชิ้น
กระดูกชื่อจมูก (ETHMOID)	1	ชิ้น
กระดูกแก้ม (MALAR)	2	ชิ้น
กระดูกขากรรไกรบน (MAXILLA)	2	ชิ้น
กระดูกขากรรไกรล่าง (MANDIBLE)	1	ชิ้น
กระดูกเพดาน (PALATINE)	2	ชิ้น
กระดูกข้างในจมูก (INFERIOR TURBINATED)	2	ชิ้น
กระดูกโคนลิ้น (HYOID)	1	ชิ้น
กระดูกหู (EAR)	6	ชิ้น

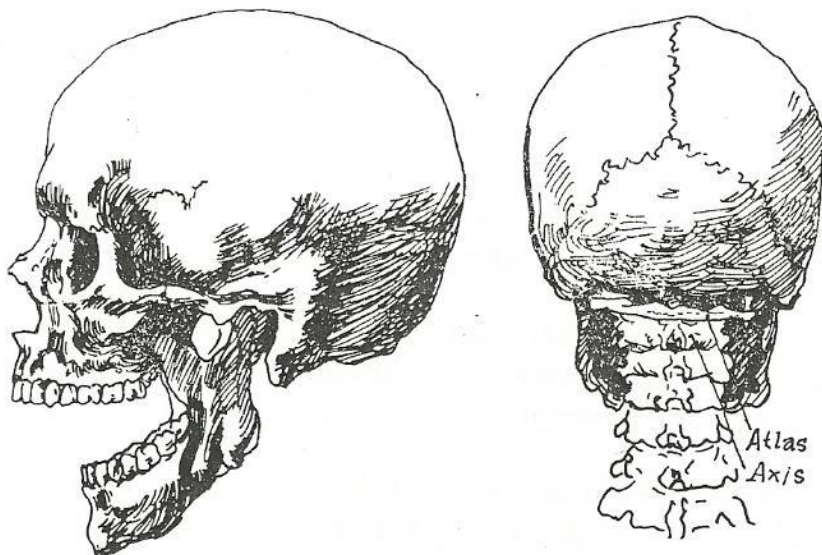
2.2.2 ข้อต่อของกระดูก (JOINTS OR ARTICULATIONS)

กระดูกหลายชนิดซึ่งประกอบเป็นโครงสร้างนั้นจะต้องต่อเนื่องกันเพื่อให้เกิดรูปทรง และทำให้มีการเคลื่อนไหวไปมาได้ และยังช่วยให้เกิดการหล่อลื่นระหว่างกระดูกกับกระดูก ข้อต่อมีหลายชนิดตามความเหมาะสม ของกระดูกแต่ละลักษณะ และอาการเคลื่อนไหว หรือรับน้ำหนักมากน้อย โดยแบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ

1. ข้อต่อชนิดถาวร หรือเคลื่อนไหวไม่ได้เลย (FIXED OR IMMOVABLE JOINTS)
2. ข้อต่อชนิดเคลื่อนไหวได้เล็กน้อย (SLIGHTLY MOVABLE JOINTS)
3. ข้อต่อชนิดเคลื่อนไหวได้เป็นอิสระ (FREELY MOVABLE JOINTS)

1. ข้อต่อชนิดเคลื่อนไหวนไม่ได้เลย (FIXED OR IMMOVABLE JOINTS)

เช่นที่กะโหลกศีรษะ และหน้า โดยมีลักษณะรอยต่อแบบ ZIG ZAG เป็นรอยต่อที่เรียกว่า SUTURE พบที่รอยต่อระหว่างกระดูกหน้าผากกับกระดูกข้างศีรษะ และรอยต่อกระดูกข้างศีรษะและกระดูกท้ายทอย



ภาพ 6 แสดงข้อต่อชนิดเคลื่อนไหวนไม่ได้เลย

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528

2. ข้อต่อชนิดเคลื่อนไหวได้เล็กน้อย (SLIGHTLY MOVABLE JOINTS)

เช่นที่กระดูกสันหลัง แต่ละข้อ ทำให้สามารถก้ม-เงย-หมุนบิดได้ และที่ข้อต่อระหว่างกระดูกหัวเหน่า (PUBIS) ในผู้หญิงเพื่อที่จะให้เชิงกราน (PELVIS) ขยายตัวได้เวลาคลอดบุตร

3. ข้อต่อชนิดเคลื่อนไหวได้เป็นอิสระ (FREELY MOVABLE JOINTS)

ข้อต่อชนิดนี้ทำงานได้อย่างกว้างขวาง และมีประสิทธิภาพ และแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักได้ดี ข้อต่อชนิดนี้แบ่งย่อยตามลักษณะต่าง ๆ กันออกเป็น 7 ชนิดคือ

1. ข้อต่อแบบหน้าแบน (PLANE JOINTS) ได้แก่ ข้อต่อที่มีลักษณะของกระดูกหน้าแบนมาพบกัน เคลื่อนไหวชนิด ภู-เลื่อน ไป-มา เช่นระหว่างกระดูกสันหลัง หรือรอยต่อระหว่างปลายไหปลาร้ากับสะบัก โคนกระดูกซี่โครงกับกระดูกสันหลัง
2. ข้อต่อแบบบานพับ (HINGE JOINTS) มีลักษณะเช่นบานพับคือ อาจพับไปข้างหน้า และข้างหลังทางใดทางหนึ่ง เช่นที่กระดูกแขนท่อนบนและท่อนล่าง โดยพับที่ข้อศอก กระดูกขาท่อนบนและท่อนล่างโดยพับที่หัวเข่า และตามนิ้วมือ นิ้วเท้า และระหว่างข้อต่อกระดูกขากรรไกรล่าง กับกะโหลกศีรษะ

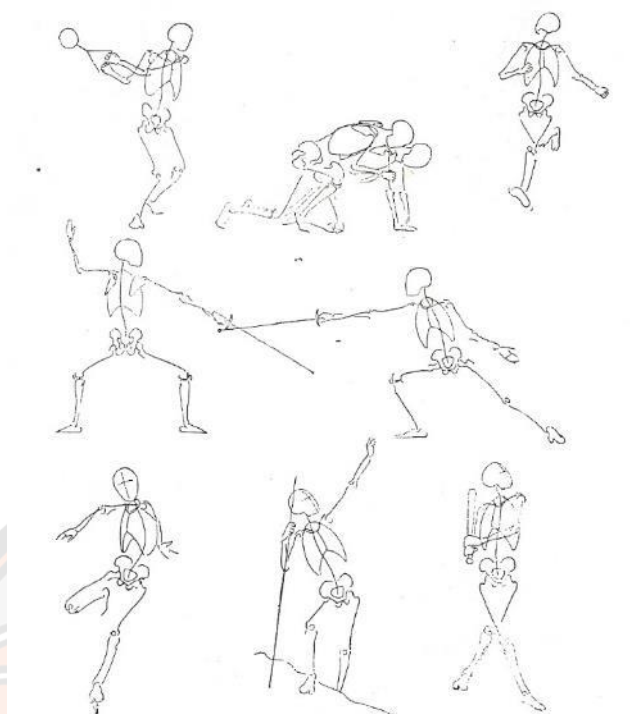
3. **ข้อต่อแบบอานม้า (SADDLE JOINTS)** มีกระดูกชิ้นหนึ่งเว้าแบบอานม้ามารวมกับกระดูกอีกชิ้นหนึ่ง ซึ่งนูนเป็นสัน เช่นที่ข้อของกระดูกฝ่ามือ ของนิ้วหัวแม่มือ กับกระดูก TRAPEZIUM ของ CARPUS ต่อกัน ทำให้นิ้วหัวแม่มือเคลื่อนไหวได้สะดวกยิ่งขึ้น
4. **ข้อต่อแบบวงแหวน (PIVOT JOINTS)** คือข้อต่อที่กระดูกชิ้นหนึ่งหมุนสวมอยู่ในวงของกระดูกอีกอันหนึ่ง เช่นข้อต่อของกระดูกก้านคอ (ATLAS และ AXIS) เวลาหมุนคอไปมา และข้อต่อของกระดูกปลายแขน (ULNA & RADIUS) เช่นเวลา หายใจคว่ำมือ
5. **ข้อต่อแบบเบ้ากลม (BALL & SOCKET JOINTS)** คือมีกระดูกชิ้นหนึ่งมีหัวกลม สวมเข้าไปในเบ้า (CAVITY) ของอีกอันหนึ่ง ทำให้หมุนไปมาได้ดี เช่นที่ กระดูกต้นแขนหัวฝักอยู่ใน CAVITY ของกระดูกสะบัก และต้นขาตอนหัวฝักกับกระดูกสะโพก (HIP JOINT)
6. **ข้อต่อแบบปุ่มกลม (CONDYLE JOINT)** คือชนิดต่อกันโดย CONDYLE ทำให้มีการเคลื่อนไหวเป็น 2 ทาง คือไปข้างหน้าและข้างหลังทางหนึ่ง และไปข้างๆ อีกทางหนึ่ง เช่นที่กระดูกฝ่ามือกับโคนกระดูกนิ้วมือ กระดูกฝ่าเท้ากับโคนกระดูกนิ้วเท้า
7. **ข้อต่อแบบรูปรี (ELLIPSOID JOINTS)** คล้ายคลึงกับ BALL & SOCKET JOINTS ต่างกันที่หัวกระดูกด้านหนึ่งอยู่ในลักษณะรูปไข่ติดต่อกับกระดูกอีกด้านหนึ่งเป็นเบ้ารียาวเช่นที่ปลายของกระดูกปลายแขน กับกระดูกข้อมือ ซึ่งช่วยในการงอและเหยียดข้อมือ

การเคลื่อนไหวของข้อต่อ

(MOVEMENT)

ลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่าง ๆ แต่ละประเภททำงานได้ดังนี้

- FLEXION คือการการงอหรือโค้งไปด้านหน้า
- EXTENSION เหยียดออกไปหรือแอ่นไปข้างหน้า
- ABDUCTION อาการกางออก เช่น กางแขน-ขา
- ADDUCTION อาการหุบเข้า เช่น หุบแขน-ขา
- POTATION อาการหมุนอยู่กับที่ หันไป-หันมา
- LATERALFLEXION อาการทำให้เอียงไปข้างๆ



ภาพ 7 แสดงการเคลื่อนไหวของข้อต่อ

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528

โครงสร้างของร่างกาย

(REGIONAL CLASSIFICATION SKELETON)

เพื่อให้สะดวกในการศึกษาเราจึงแบ่งร่างกายของมนุษย์ออกได้เป็น 2 ตอนคือ

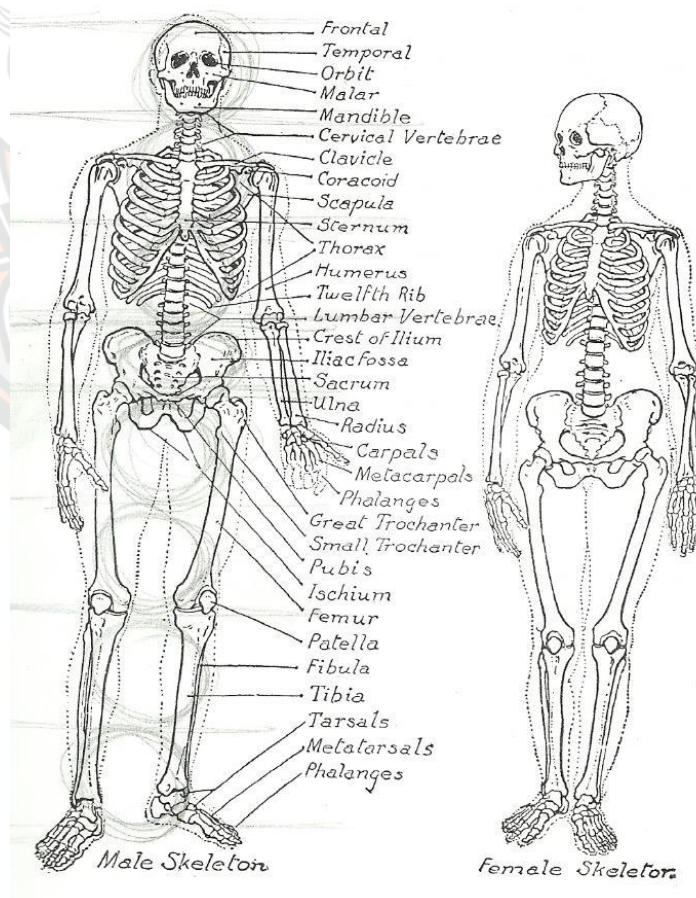
1. โครงสร้างประเภทแกนของลำตัว (AXIAL SKELETON)

ส่วนนี้ทำหน้าที่เป็นแกนลำตัว เป็นโครงสร้างที่ตั้งส่วนสมอง และอวัยวะภายในของลำตัว ประกอบด้วยกระดูกต่าง ๆ ดังนี้

- กระดูกส่วนศีรษะ (HEAD หรือ SKULL) มีส่วนต่าง ๆ ดังนี้
- กระดูกส่วนสมอง (CRANIUM PART)
- กระดูกส่วนใบหน้า (FACE PART)
- กระดูกส่วนคอ (THROAT)
- กระดูกส่วนลำตัว (TORSO) มีส่วนต่าง ๆ ดังนี้
 - กระดูกสันหลัง (SPINE OR VERTEBRAL COLUMN)
 - กระดูกส่วนทรวงอก (THORAX)

2. โครงสร้างประเภทสาขาของร่างกาย (APPENDICULAR SKELETON) คือส่วนแขนและขาของร่างกายแบ่งเป็น 2 ตอนคือ

- ส่วนสาขาตอนบน (UPPER EXTERMITY) ประกอบด้วย
 - ส่วนไหล่ (SHOULDER)
 - ส่วนต้นแขน (ARM)
 - ส่วนปลายแขน (FORE ARM)
 - ส่วนมือ (HAND)
- ส่วนสาขาตอนล่าง (LOWER EXTERMITY) ประกอบด้วย
 - ส่วนสะโพก (HIP)
 - ส่วนต้นขา (THIGH)
 - ส่วนเข่า (KNEE)
 - ส่วนปลายขา (LEG)
 - ส่วนเท้า (FOOT)



ภาพ 8 แสดงโครงสร้างสาขาของร่างกาย

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528

กระดูกสันหลัง

(VERTE BRAL COLUMN)

จัดว่าเป็นแกนของร่างกายโดยแท้เพราะ ต้องมีหน้าที่ช่วยเหลือลำตัวและแขนขา เป็นที่เกาะของซี่โครงซึ่งห่อหุ้มอวัยวะภายใน และยังช่วยกระพายน้ำหนักลงไปที่ส่วนขา กระดูกสันหลังในผู้ใหญ่มี 26 ชิ้น ในเด็กมีถึง 33 ชิ้น ยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 71 ซม. หรือ 28 นิ้ว กระดูกสันหลังจะมีส่วนโค้งสลับกันไปมา 4 ตอน เพื่อให้ การทรงตัวเคลื่อนไหวเป็นไปด้วยดีทั้งยังทำให้เกิดความงามขึ้นอีกด้วย กระดูกสันหลังซึ่งมีลักษณะต่อกันเป็นข้อๆ แบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

	ผู้ใหญ่	เด็ก
กระดูกสันหลังส่วนคอ (CERVICAL)	7	7
กระดูกสันหลังส่วนอก (THORAX)	12	12
กระดูกสันหลังส่วนเอว (LUMBAR)	5	5
กระดูกสันหลังส่วนก้น (SACRAL)	1	5
กระดูกสันหลังส่วนก้นกบ	1	4
รวม	26	33

การเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง (MOVEMENT OF VERTEBRAL COLUMN)

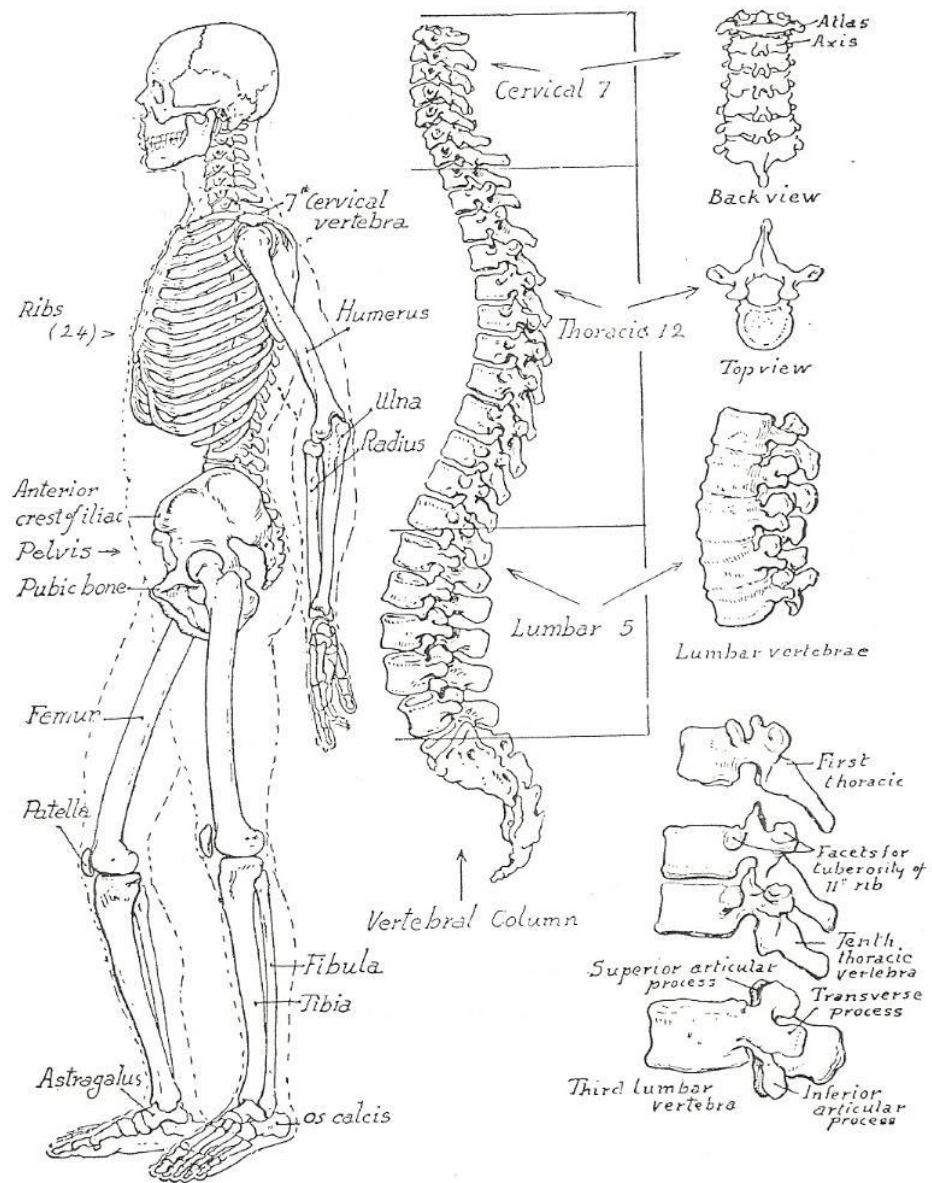
เนื่องการที่กระดูกสันหลังมีต่อกันหลายชิ้นจึงจะสามารถเคลื่อนไหวได้เป็นอย่างดี อาการเคลื่อนไหวทำได้ดังนี้

โค้งไปข้างหน้าเวลาก้มตัวเรียกว่า FLEXION

โค้งไปด้านหลังเช่นเวลาแอ่นตัวเรียกว่า EXTENSION

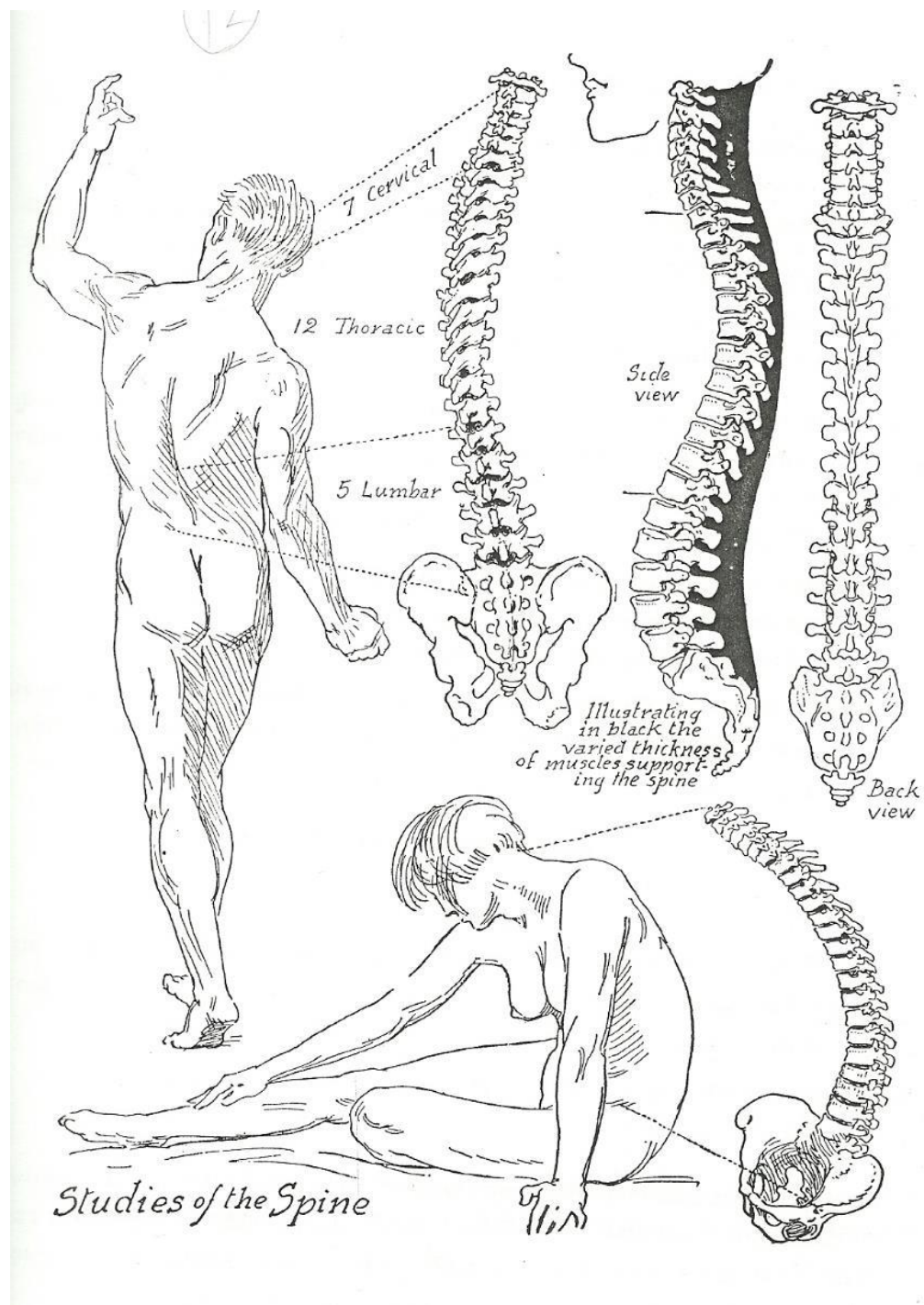
เอียงไปข้างๆ เรียกว่า LATERAL FLEXION

บิดหมุนไปมาเรียกว่า ROTATION เฉพาะส่วนคอและส่วนเอวจะเคลื่อนไหวได้มากกว่าส่วนอื่น



ภาพ 9 แสดงการเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528



ภาพ 10 แสดงกระดูกสันหลัง

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528

กระดูกส่วนทรวงอก

(THORAX)

ลักษณะโดยทั่วไปของส่วนทรวงอก มีรูปร่างเหมือนกรวยหรือส้อม คือส่วนแบนแคบ และส่วนล่างกางออก ส่วนข้างหลังยาว ข้างหน้าสั้น ในเด็กทรวงอกจะกลมมากกว่าผู้ใหญ่ เพราะเหตุผลที่ผู้ใหญ่ใช้แขนมาก จึงทำให้ทรวงอกเป็นทรงรีมากกว่า ส่วนทรวงอกแบ่งออกได้ 2 ตอนคือ

กระดูกหน้าอก (STERNUM BONE)	1	ชิ้น
กระดูกซี่โครง (RIBS BONE)	24	ชิ้น

กระดูกหน้าอก

(STERNUM BONE)

เป็นกระดูกชนิดแบนยาวประมาณ 6 นิ้ว หรือประมาณ 1 คืบของตัวเอง เป็นแกนของอก ตอนหัวเป็นที่เกาะของกระดูกไหปลาร้า (CLAVICLE) และลำตัวเป็นกระดูกที่เกาะของกระดูกซี่โครง (RIBS) ซึ่งอ้อมมาจากกระดูกสันหลัง กระดูก STERNUM ยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อรูปร่าง ของอกด้านหน้า แต่ละคนด้วยกระดูกหน้าอก แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. ส่วนกว้างตอนบน (MANUBRIUM) เป็นที่เกาะของกระดูกไหปลาร้า (CLAVICLE) และปลายของซี่โครง (RIBS) คู่แรก และคู่ที่ 2 ตรงปลายรอยต่อ
2. ส่วนกลางหรือส่วนลำตัว (BODY) ของทั้ง 2 สองข้างมีรอยต่อกับกระดูกปลายซี่โครงซี่ที่ 3, 4, 5, 6 และ 7
3. ส่วนปลายหรือลิ้นปี่ (XIPHOID หรือ ENSIFORM-PROCESS) ส่วนนี้ไม่มีรอยต่อกับซี่โครง

กระดูกซี่โครง

(RIBS BONE) เป็นกระดูกชนิดแบนยาวโค้ง มีจำนวน 12 คู่ เกาะติดกับกระดูกสันหลังแล้วอ้อมมาติดกับกระดูกหน้าอก โดยมีกระดูกอ่อน (COSTAL CARTILAGE) เชื่อมประสานอยู่ กระดูกซี่โครงแต่ละชิ้นมีลักษณะดังนี้

- กลางลำตัว (BODY หรือ SHAFT)
- ส่วนปลายทางด้านหน้า (ANTERIOR END)
- ส่วนปลายทางด้านหลัง (POSTERIOR END)

กระดูกซี่โครงแบ่งออกเป็น 3 ตอนคือ

1. ซี่โครงแท้ (TRUE RIBS) ซี่ที่ 1-7 ตอนปลายด้านหน้าเกาะกับ STERNUM BONE
2. ซี่โครงไม่แท้ (FALSE RIBS) ซี่ที่ 8-10 ตอนปลายด้านหน้าอาศัย ซี่ที่ 7 เกาะต่อกันมา
3. ซี่โครงลอย (FLOATING RIBS) ซี่ที่ 11-12 ตอนปลายด้านหน้าไม่เกาะกับอะไรเลย เป็นโครงสร้างของส่วนเอวกระดูกซี่โครงจะมีลักษณะยืดหยุ่น และเคลื่อนไหวได้ดีมากตาม

สภาพร่างกายต้องการเพราะมี CASTAL CARTILAGE เพื่อช่วยให้มีการยืดและหดตัว (ELASTICITY) ได้เป็นอย่างดี

ความแตกต่างระหว่างเพศวัยของกระดูกส่วนทรวงอก

เด็ก

- STERNUM BONE ของเด็กจะยื่นเฉียงออกมาทางด้านหน้ามากซึ่งเป็นส่วนทำให้ตัวกลม

- RIBS BONE ด้านตัดจะเป็นทรงกลม กระดูกชายโครงกลางออกมากทำให้ท้องใหญ่ยื่น

ชาย

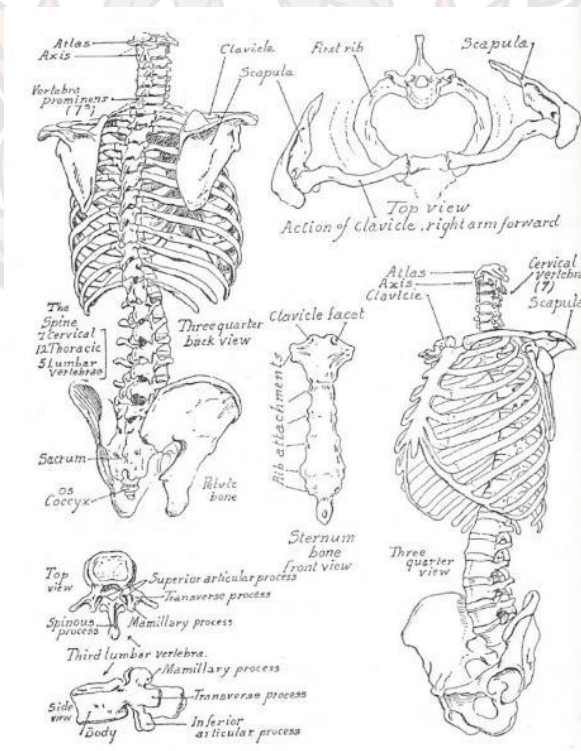
- STERNUM BONE ยื่นเฉียงออกมาทางด้านหน้าเช่นกันตอนกลางลำตัว (BODY) จะโค้งงอขึ้นมาเพื่อให้มีอกผิ่ผาย

- RIBS BONE ด้านตัดเป็นรูปรี ทำให้มีผลต่อลำตัวคือ แบน-กว้าง ชายโครงประมาณแนวเดียวกับข้อศอก

หญิง

- STERNUM BONE อยู่ในแนวตั้ง เพราะเหตุที่ผู้หญิงต้องมีเต้านมเพิ่มขึ้น

- RIBS BONE ด้านตัดค่อนข้างกลม เพราะโครงสร้างซี่โครงเป็นรูปทรงกระบอก ตำแหน่งปลายสุดของชายโครงเหนือแนวข้อศอกเล็กน้อย



ภาพ 11 แสดงกระดูกส่วนทรวงอก

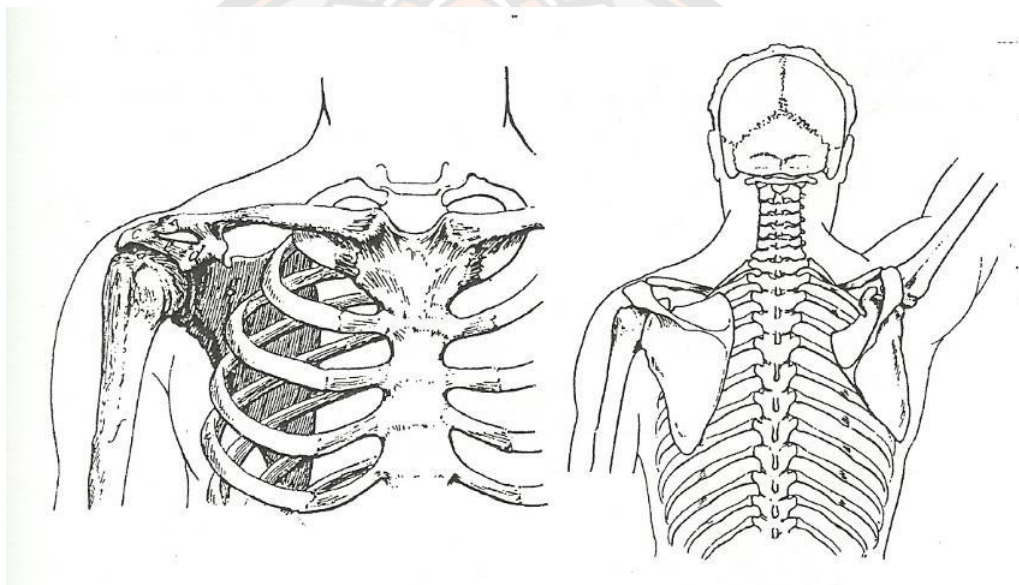
ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528

โครงสร้างสาขาของร่างกาย (APPENDICULAR SKELETON)

โครงสร้างส่วนนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ

1. โครงสร้างสาขาทอนบน (UPPER EXTERMITY) มีส่วนต่าง ๆ ดังนี้

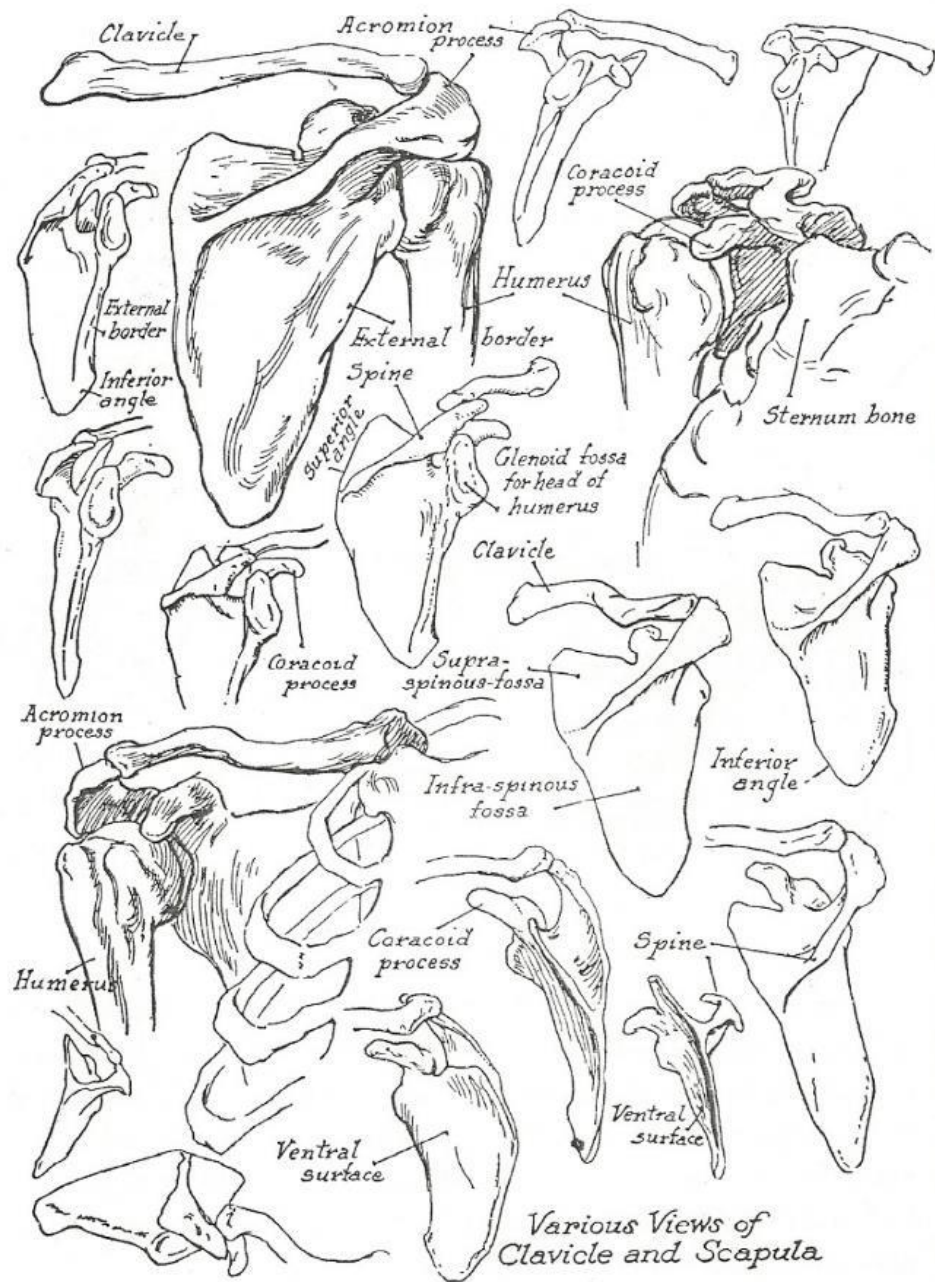
กระดูกไหปลาร้า (CLAVICLE BONE) เป็นกระดูกชนิดยาวโค้ง มีจำนวน 2 ชิ้นตั้งขวางบนยอดอกเหนือซี่โครงซี่ที่ 1 ปลายด้านในกลมมนต่อเข้ากับ MANUBRIUM กระดูกหน้าอก (STERNUM) เรียกว่า STERNAL EXTERMITY ส่วนปลายนอกเล็กแบนเว้าเป็นแอ่งเรียกว่า ACROMIAL EXTERMITY ต่อเข้ากับ ACOMION PROCESS ของกระดูก สะบัก (SCAPULA) พื้นตอนล่างขรุขระมองเห็นได้ชัดเจนในคนผอม



ภาพ 12 แสดงโครงสร้างสาขาทอนบน

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528

กระดูกสะบัก (SCAPULA BONE) เป็นกระดูกชนิดแบนกว้างมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยม ตั้งอยู่ด้านหลังของ THORAX ระหว่างซี่โครงซี่ที่ 2-7 ทางด้านที่ติดกับซี่โครงจะกว้าง แต่เว้าเป็นแอ่งเรียกว่า SUBSCAPULA FOSSA พื้นทางด้านหลังจะนูนโดยมีสันของกระดูกเรียกว่า SPINE OF SCAPULA ทอดขวางอยู่เหนือสันกระดูกเล็กน้อย เว้าลงไป เรียกว่า SUPRASPINOUS FOSSA ส่วนตอนล่างเดียวกันนี้ กว้างกว่าส่วนตอนบนเรียกว่า INFRASPINOUS FOSSA ปลายของส่วนสันกระดูก SCAPULA นั้นเรียกว่า ACROMION PROCESS สำหรับต่อเข้ากับกระดูกไหปลาร้า และต้นแขน (HUMERUS) กระดูก SCAPULA จะเคลื่อนไหวได้มากเมื่อมีการเคลื่อนไหวต้นแขนเพราะต้องทำงานต่อเนื่องกันนั่นเอง



ภาพ 13 แสดงกระดูกสะบัก

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528

ความแตกต่างระหว่างเพศ-วัย ของกระดูกโหลบไหล่และกระดูกสะบัก

เด็ก

- CLAVICLE BONE สั้นและยื่นออกมาข้างหน้า
- SCAPULA BONE มีขนาดเล็ก และสั้น ตั้งห่างจากแนวกระดูกสันหลังทำให้หน้าอก

แคบและเล็ก

ชาย

- CLAVICLE BONE ตั้งอยู่แนวตรงตอนปลายจะเฉียงขึ้น ทำให้ช่วงไหล่ดูกว้าง ฝั่งผาย

นับเป็นลักษณะเด่นของเพศชายโดยเฉพาะ

- SCAPULA BONE ตั้งชิดอยู่กับแนวกระดูกสันหลัง ตั้งดันไปกับกระดูกต่อแขนทำให้ไหล่ร่นไปทางด้านหลังเมื่อมองทางด้านข้างจึงดูอกผาย

หญิง

- CLAVICLE BONE ตั้งอยู่แนวขนานตอนปลายเฉียงลงเล็กน้อย ทำให้ดูไหล่ลาดลง คอ

ยาวระหง

- SCAPULA BONE ตั้งอยู่ห่างแนวกระดูกสันหลังเพราะเหตุที่มีลำตัวกลม ทำให้ทรวงอกแคบและยื่นออกทางด้านหน้า ต้นแขนของหญิงเมื่อมองทางด้านข้างจึงอยู่ประมาณกลางลำตัว

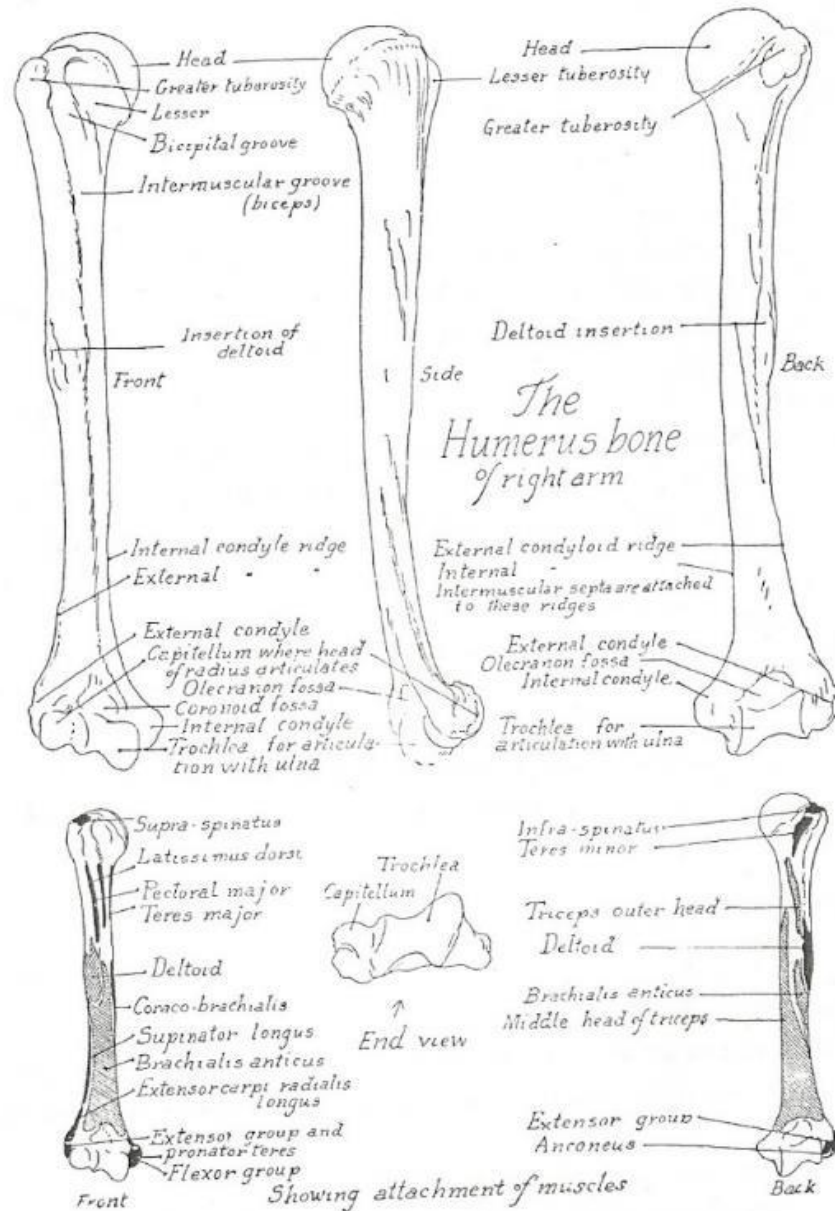
กระดูกต้นแขน (HUMERUS BONE) เป็นกระดูกชนิดยาวใหญ่ที่สุดของส่วนแขน แบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ กระดูกตอนบน ตอนกลาง ตอนล่าง ตอนหัวกระดูก ตอนบนเป็นรูปกลม (HEAD) สำหรับต่อเข้ากับกระดูกสะบัก (SCAPULA) ตอนใต้หัวกระดูกลงมาคอดเรียกว่า NECK ซึ่งมี 2 ปุ่ม ปุ่มนอกเรียกว่า GREATER TUBEROSITY ปุ่มหน้าเล็กกว่าเรียกว่า LESSER TUBEROSITY ส่วนอื่น ๆ ที่ควรรู้มีดังนี้

- BICIPITAL GROOVE เป็นที่ติดของหัวกล้ามเนื้อ
- DELTOID TUBEROSITY เป็นที่เกาะปลายกล้ามเนื้อ
- EXTERNAL EPICONDYLE ปุ่มกระดูกอยู่ใต้ผิวหนังยึดให้เกิดเป็นรอยปุ่มเห็นได้ชัดเจน
- OLECRANON FOSSA รอยปุ่มตอนปลายกระดูกด้านหลัง
- TROCHLEA ข้อต่อรูปหลอดด้วยเพื่อรับกับหัวกระดูก ULNA
- CAPITELLUM ปุ่มกระดูกกลม ถัดออกมาทางด้านนอก THOCHLEA เป็นข้อต่อเพื่อเข้ากับหัวกระดูก RADIUS

กระดูกปลายแขน (FORE ARM) ประกอบด้วยกระดูก 4 ชิ้นคือ

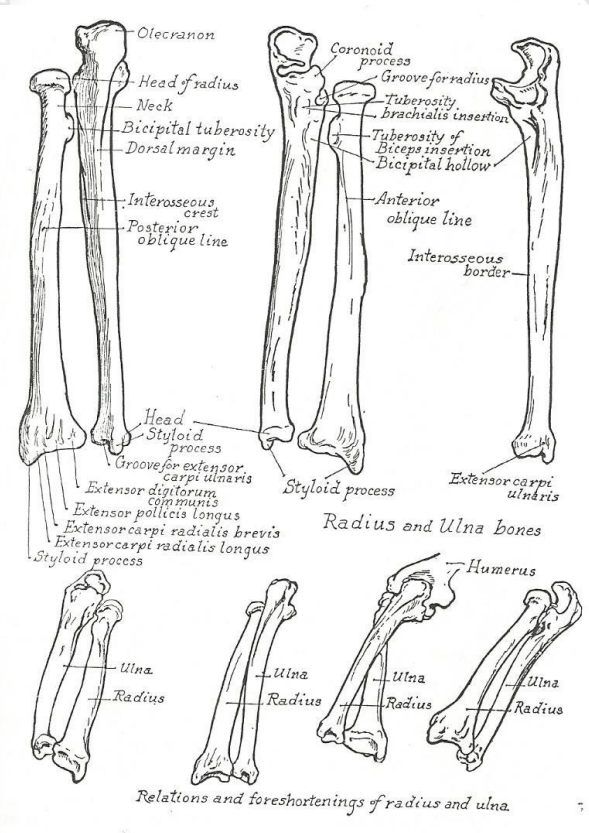
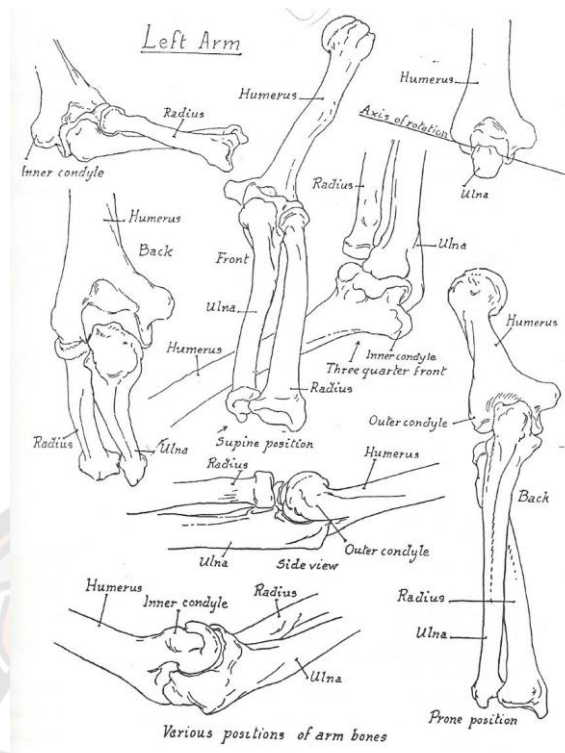
กระดูกปลายแขนอันที่เป็นข้อศอก (ULNA BONE) หรือกระดูกปลายแขนอันในยาวกว่าอันนอก มีจำนวนข้างละ 1 ชิ้น มีส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- SEMI LUNAR NOTCH รอยหว้าสำหรับ ต่อกับ TROCHLEA ของกระดูกต้นแขน ทำหน้าที่เวลายกแขน
- OLCRANON PROCESS ปุ่มข้อศอกเป็นกระดูกใต้ผิวหนัง
- STYLOID PROCESS ปุ่มกระดูกตอนปลายนิ้วก้อยมองเห็นได้ชัดเจนเพราะอยู่ใต้ผิวหนัง



ภาพ 14 แสดงกระดูกต้นแขน

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528



ภาพ 15 แสดงกระดูกปลายแขน

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528

1. โครงสร้างสาขาทอนล่าง (LOWER EXTERMITY) ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือ

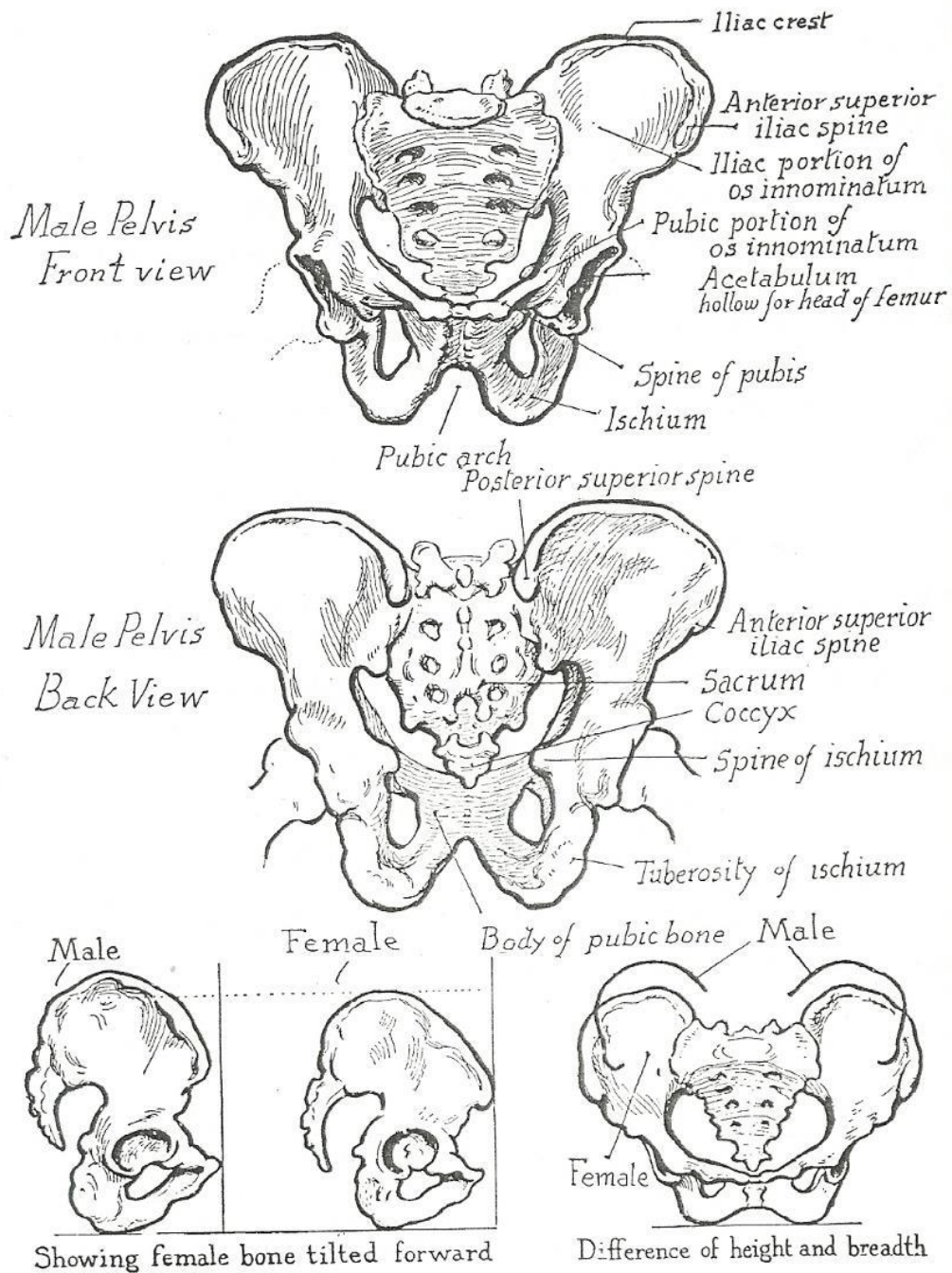
กระดูกส่วนสะโพกหรือกระดูกเชิงกราน (PELVIS BONE) คำว่า PELVIS แปลว่า ซามอ่าง เพราะลักษณะโครงสร้างเป็นเช่นนั้น เป็นกระดูกชนิดแบน ประกอบด้วยกระดูกสะโพก (HIP BONE) 2 ชิ้นมาประกอบกัน เป็นด้านหน้า และด้านข้าง ส่วนกระดูกกระเบนเหน็บ (SACRUM) และกระดูกก้นกบ (COCCXY) ประกอบเป็นต้นหลังโดยแบ่งส่วนต่าง ๆ เป็น 3 ส่วน คือ

- ILIUM เป็นส่วนที่ยื่นออกมาข้างบนของสะโพกมีขอบเป็นสันเรียกว่า CREST OF ILLUM หรือ ILIAC CREST มีปุ่ม 2 ปุ่ม คือปุ่มหน้าเรียก ANTERIOR SUPERIOR ILIAC SPINE ปุ่มหลังเรียกว่า POSTERIOR SUPERIOR LILAC SPINE
- ISCHIUM คือส่วนล่างของ HIPBONE เป็นส่วนที่รับน้ำหนักของร่างกายเวลานั่งส่วนนี้จะติดกับพื้นที่มีปุ่มใหญ่ TUBEROSITY OF ISCHIUM รองรับ
- PUBIS คือ ส่วนหน้าของกระดูกสะโพกยื่นออกไปจาก LILUM และ ISCHIUM รอยต่อ PUBIS ส่วนนี้เรียกว่า SYMPHYSIS PUBIS จะเคลื่อนไหวได้ในขณะที่หญิงจะคลอดบุตรและยังถือเป็นจุดแบ่งครึ่งความสูงของร่างกายด้วย

ความแตกต่างระหว่างเพศของเชิงกราน

ชาย กระดูกสะโพกด้านหน้าสอบแคบและตั้งสูง มีระยะห่างระหว่างกระดูกชายโครงกับปีกเชิงกรานน้อย ทำให้ชายมีเอวหนา และใหญ่กว่าเพศหญิง ด้านข้างกระดูกสะโพก และด้านข้างของกระดูกหัวเหน่า (PUBIS) จะอยู่ในแนวตั้งเดียวกัน จึงไม่ทำให้กระดูกกระเบนเหน็บ (SACRUM) ยื่นออกไปทางด้านหลังเช่นของหญิง

หญิง เชิงกรานของหญิงธรรมชาติสร้างไว้เพื่อให้เหมาะแก่การตั้งครรภ์ และการคลอดบุตร จึงมีลักษณะกว้าง-ตื้น เบาและเกลี้ยงกว่าชาย โดยเฉพาะด้านหน้าตอนบนผายกว้าง มีระยะห่างระหว่างชายโครง กับเชิงกรานมาก เป็นเหตุให้หญิงมีเอวเล็กบาง ปลายสันของสะโพกยื่นล้ำออกมาด้านหน้ามากกว่าส่วน PUBIS ทำให้ส่วนกระเบนเหน็บ (SACRUM) ยื่นออกมาจากข้างหลังมากกว่าชาย กระดูกส่วนสะโพกนี้นับว่าเป็นส่วนที่เป็นความแตกต่างระหว่างเพศได้ชัดเจนส่วนของมนุษย์ และมีอิทธิพลต่อรูปร่างภายนอกได้เป็นอย่างดี



ภาพ 16 แสดงกระดูกเชิงกราน

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528

กระดูกต้นขา (FEMUR BONE) มี 2 ชิ้น ซ้าย ขวา เป็นกระดูกชนิดยาวที่มีขนาดใหญ่ และแข็งแรงที่สุดในร่างกาย มีลักษณะคล้ายกับกระดูกต้นแขน มีส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- HEAD OF FEMUR คือปุ่มกลมตอนบน สำหรับสวมเข้ากับ HIP BONE

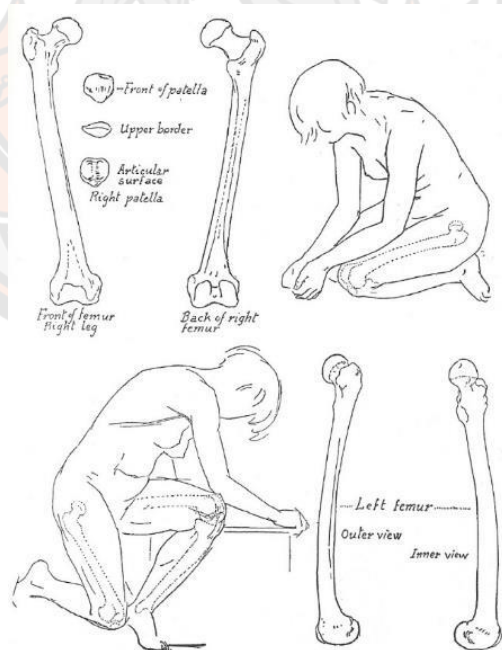
- BODY OF FEMUR หรือ SHAFT เป็นส่วนลำตัว พื้นด้านหลังเป็นสันแบบใหญ่ทอดไปตามความยาวสำหรับให้กล้ามเนื้อเกาะ
- MEDIAL CONDYLE และ LATERAL CONDYLE เป็นรอยบากใหญ่ส่วนที่ปลายของต้นขาเพื่อจะได้ออกไปเข้ากับกระดูกปลายขา และด้านหน้าต่อเข้ากับกระดูกสะบ้า (PATELLA)

กระดูกสะบ้า (PATELLA BONE) มีสองชิ้นลักษณะเกือบเป็นสามเหลี่ยม ปลายชี้ลงล่าง ตั้งอยู่ทางด้านของเข่ามีเอ็นเรียกว่า LIGMENT PATELLA เกาะอยู่ที่ยอด (APEX) ของมันเพื่อช่วยยึดให้มั่นคงแข็งแรงขึ้น

กระดูกปลายขา (TIBIA & FIBULA) มีจำนวนอย่างละ 2 ชิ้น เป็นกระดูกชนิดยาวมีส่วนสำคัญดังนี้

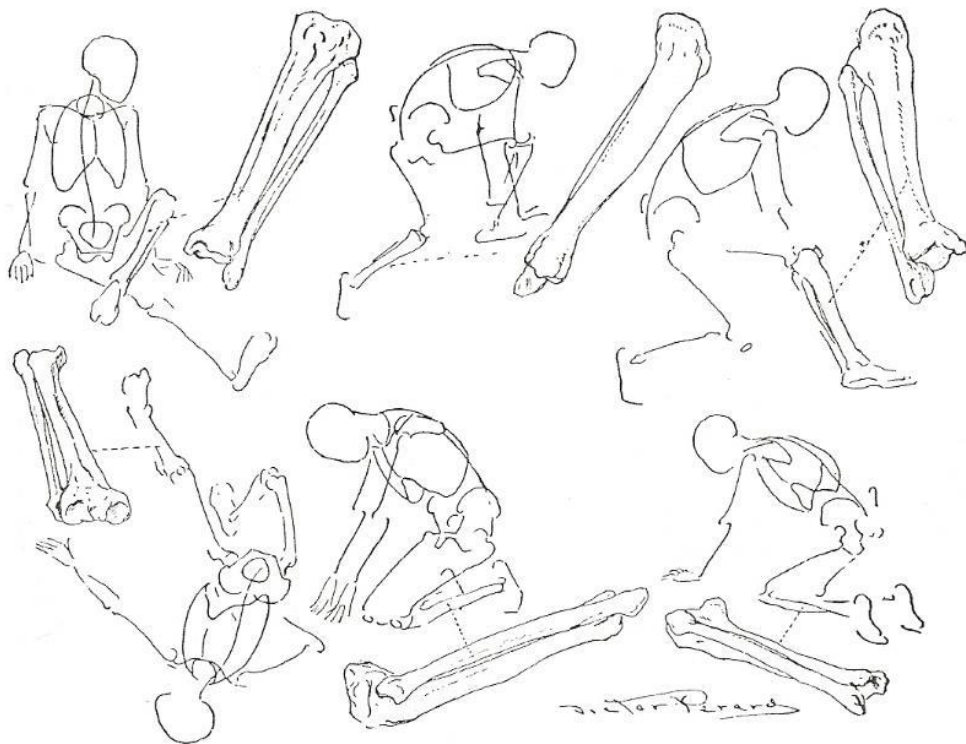
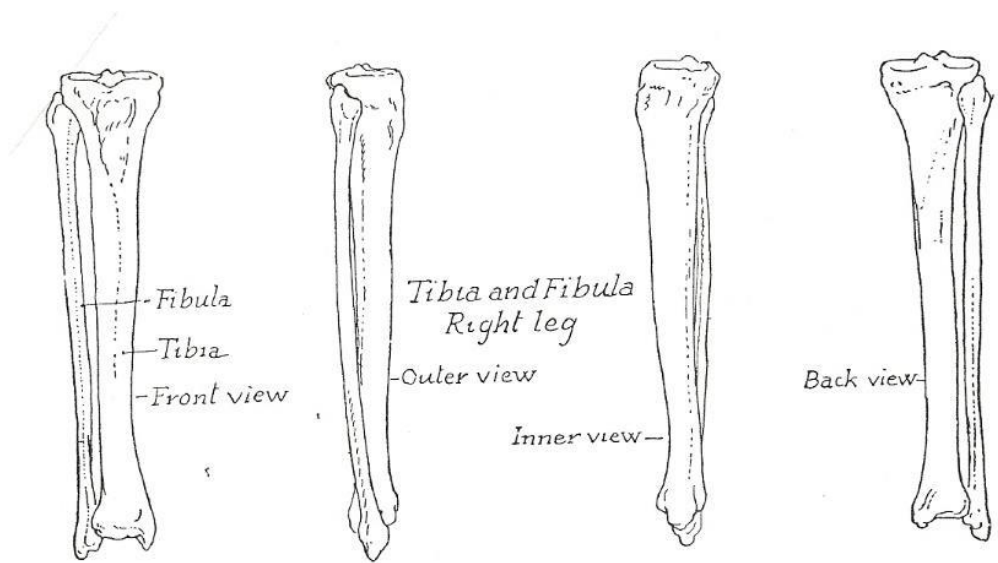
กระดูกหน้าแข้ง (TIBIA & BONE) มี

- TUBEROSITY OF TIBIA BONE เป็นปุ่มนูนทางด้านหน้าตอนใกล้กับเข่า สำหรับให้ LIGMENTUM PATELLA เกาะ
- MEDIAL MALLEOLUS เป็นตาตุ่มด้านใน และมีรอยหว้าสำหรับต่อเข้ากับกระดูกข้อเท้า



ภาพ 17 แสดงกระดูกขา

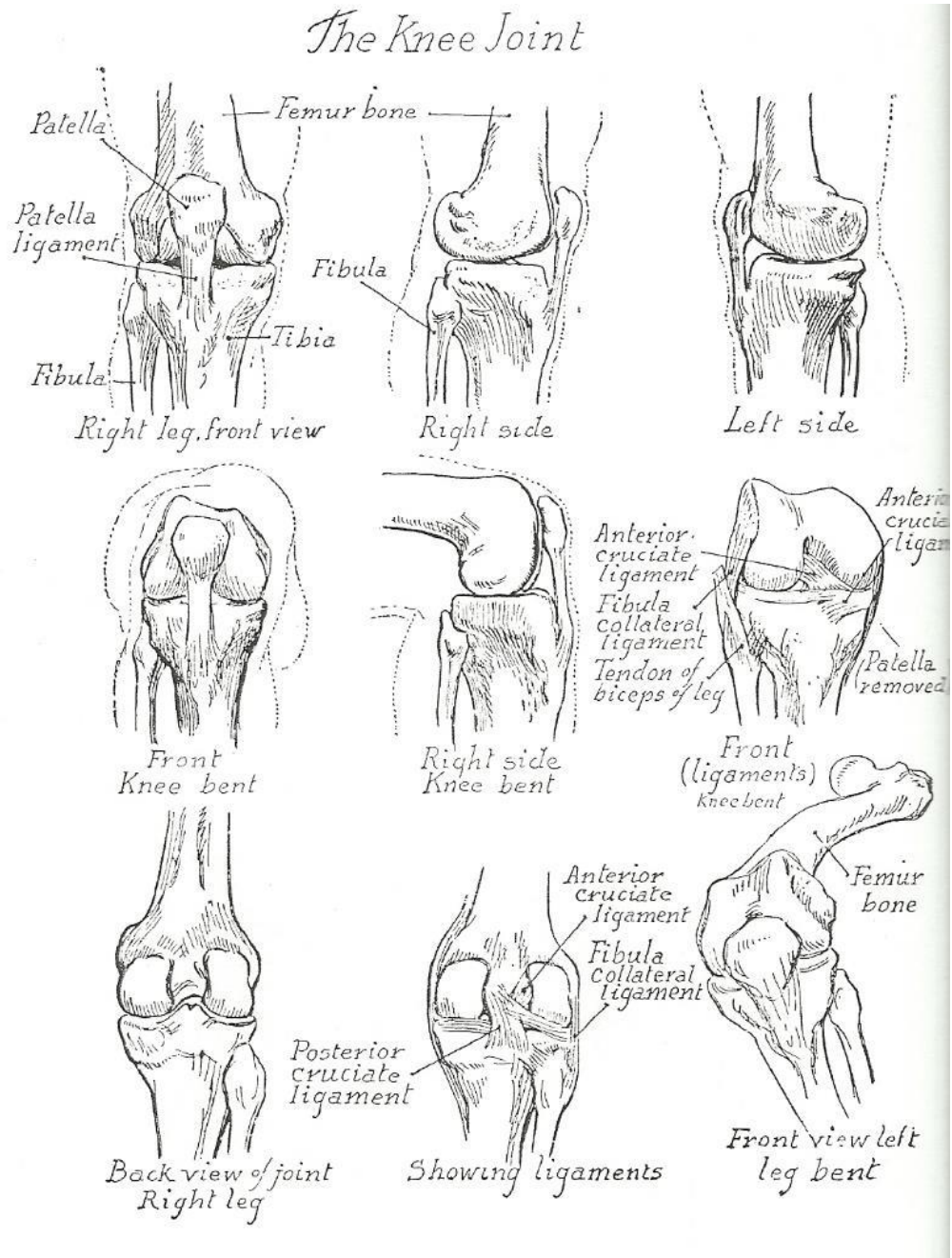
ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528



ภาพ 18 แสดงกระดูกขาช่วงน่อง

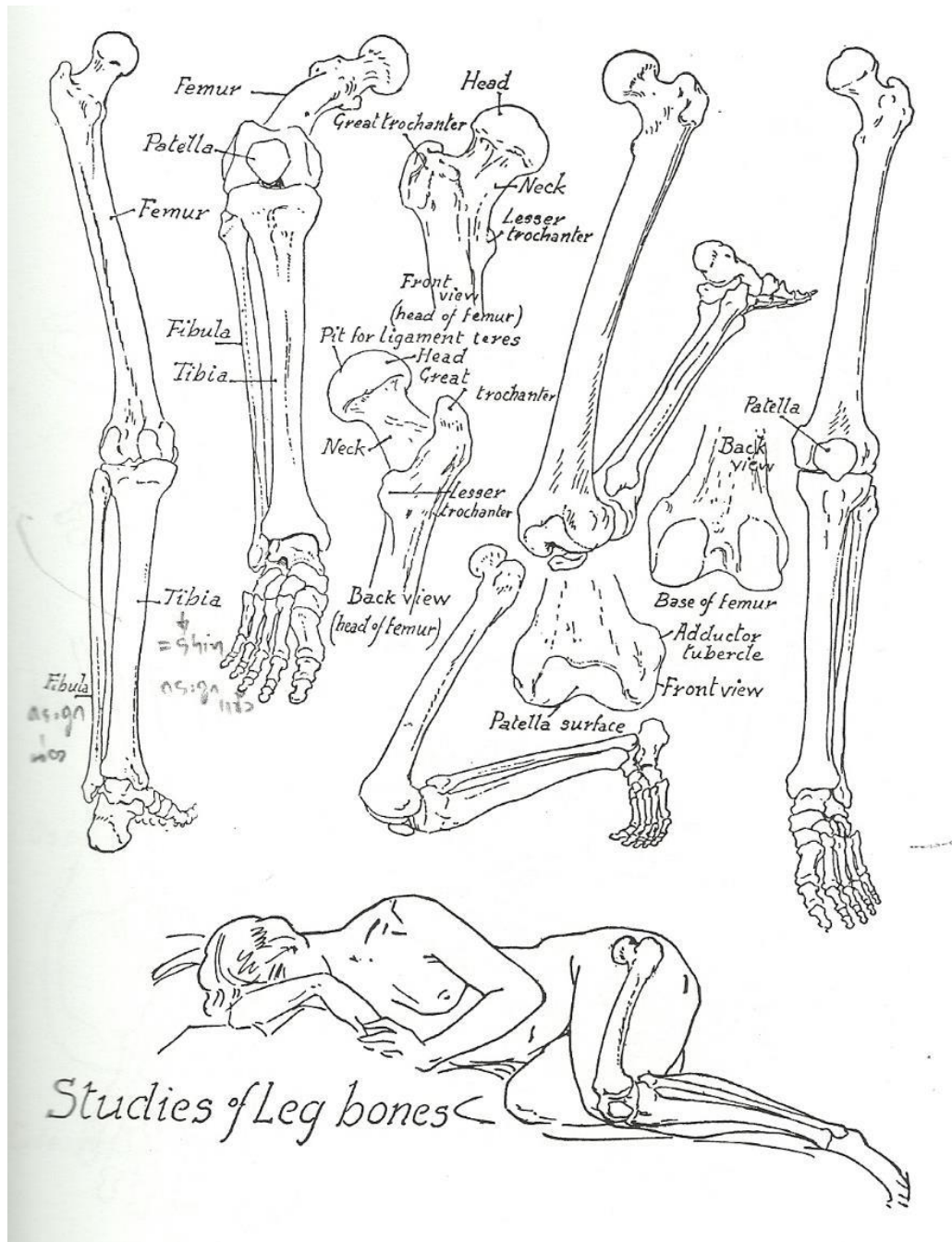
ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528

กระดูกน่อง (FIBULA BONE) มี 2 ชั้น เป็นกระดูกชนิดยาวขนาดเล็กกว่า TIBA เป็นที่น่าสังเกตว่ากระดูกปลายแขนและปลายขาที่มีส่วนคล้ายคลึงกันมาก ตอนปลายบนติดกับ LATERAL CONDYLE ของ TIBA ตอนล่าง เป็นง่ามยาวออกมาเป็นตาตุ่มด้านนอก เรียกว่า LATERAL-MALLEOLUS



ภาพ 19 แสดงข้อต่อหัวเข่า

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528



ภาพ 20 แสดงกระดูกขา

ที่มา: กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ, 2528

2.2.3 สัดส่วน (PROPORTION)

ร่างกายของมนุษย์นั้น ธรรมชาติสร้างสรรค์ให้มีความงามไปทุกส่วนสัดส่วนไม่ว่าจะมองส่วนใดแม้เพียงส่วนเล็กน้อยเช่นปลายนิ้ว ซึ่งประกอบไปด้วยเล็บ ผิวหนัง ส่วนบนและตอนล่าง ซึ่งปลายนิ้วอันสวยงาม ผสมกลมกลืนกันอย่างน่าพิศวงความงามเพียงส่วนน้อยเหล่านี้ เมื่อมาประกอบกันจนเป็น

รูปร่างที่สมบูรณ์เมื่อใดก็จะเป็นสิ่งที่สวยงามเปรียบเหมือน กลีบของดอกไม้เพียงกลีบเดียว ที่มีความงามขิงสีสันและรูปทรงและยิ่งจะงามยิ่งขึ้น เมื่อนำประกอบกันเป็นดอกไม้ที่สมบูรณ์ฉนั้นใดร่างกายมนุษย์ก็เช่นกัน ทั้งชายหญิงในทางศิลปะแล้วเราถือว่าเป็นความงามที่ทัดเทียมกัน การที่ศิลปินจะเขียนหรือปั้นภาพของมนุษย์นั้น สัดส่วนนับว่ามีความจำเป็นมาก การกำหนดสัดส่วนของมนุษย์ ถือเอากะโหลกศีรษะมาจรดปลายคาง ถือเป็น 1 ส่วนเต็ม โดยที่ส่วนสูง ของร่างกายทั้งหมดมีประมาณ 71/2 ส่วนของกะโหลกศีรษะในคนธรรมดา แต่ยังมีการกำหนดสัดส่วนของมนุษย์ ออกได้เป็น 4 แบบคือ

1. ในคนธรรมดาทั่วไป (NAOMAL) มีสัดส่วน 71/2 ส่วน
2. ในแบบอุดมคติ (IDALISTIC) มีสัดส่วน 8 ส่วน
3. ในเกี่ยวกับการทำแบบ (FASHION) มีสัดส่วน 81/2 ส่วน
4. ในเกี่ยวกับงานประติมากรรมวีรบุรุษโบราณ (HERDIC) มีสัดส่วน 9 ส่วน

ทั้ง 4 แบบ ดังได้กล่าวมาแล้วนี้ เพื่อต้องการให้เหมาะสมกับการเขียนหรือปั้นภาพคนในลักษณะต่าง ๆ เช่นภาพที่เกี่ยวกับ FASHION คือการแสดงการแต่งกาย เสื้อผ้าอาภรณ์ต่าง ๆ ผู้ที่จะมาเป็นแบบมักถูกคัดเลือกมาจากผู้ที่มีช่วงขายาว เพื่อต้องการให้เสื้อผ้าที่สวมใส่ดูสวยงามยิ่งขึ้นกว่าแบบที่มีช่วงขาสั้น ในที่นี้จะกล่าวแต่เฉพาะสัดส่วนในคนธรรมดาทั่วไปคือ 71/2 ส่วน เท่านั้น

เนื่องด้วยสัดส่วนของมนุษย์นั้นเป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ สิ่งหนึ่งกับอีกสิ่งหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องยึดเอาส่วนศีรษะเป็นเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับเปรียบเทียบกับส่วนอื่น ๆ ในวัยที่ร่างกายเจริญเติบโตเต็มที่แล้วนั้น ขณะที่ยืนในท่าเหยียดตรงเหยียดแขนออกสุดแขน แล้วลากเส้น 4 เส้นให้ผ่านจุดต่าง ๆ เช่นศีรษะ เท้า ปลายนิ้ว มือทั้ง 2 ข้างจะได้เส้นเป็นสี่เหลี่ยม จตุรัส เมื่อลากเส้นทแยงมุมมาตัดกัน จุดที่เส้นตัดกันนั้นคือ จุดแบ่งครึ่งความสูงของร่างกาย คือกระดูกหัวเหน่า (PUBIS) หรือที่ข้อมือทั้ง 2 ขณะทิ้งแขนลงมา สัดส่วนเหล่านี้จะแตกต่างกันออกไป ตามแต่วัยซึ่งเป็นผลมาจากความเจริญ-ความเปลี่ยนแปลง ของโครงสร้างกระดูก และกล้ามเนื้อนั่นเอง

ความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนในมนุษย์นั้นเกิดจากการเจริญเติบโตของกระดูกและกล้ามเนื้อ ในที่นี้จะแบ่งออกเป็น 7 ระยะ ตั้งแต่แรกเกิดไปจนถึงอายุ 80 ปี

ระยะที่ 1 วัยแรกเกิด (AT BIRTH) มีสัดส่วนประมาณสี่ส่วนเท่านั้น เพราะมีกะโหลกศีรษะใหญ่มากแขนขาสั้นกึ่งางความสูงอยู่เหนือสะดือเล็กน้อย

ระยะที่ 2 วัยทารกก่อนเข้าเรียน (INFANCY) อายุประมาณ 2 ขวบ มีสัดส่วนขยายขึ้นเป็น 41/2 ส่วน กึ่งางของความสูงอยู่ต่ำกว่าสะดือเล็กน้อย

ระยะที่ 3 วัยเด็กก่อนวัยรุ่น (CHILD HOOD) อายุประมาณ 8 ขวบ สัดส่วนขยายขึ้นเป็น 61/2 มีจุดกึ่งกลางความสูงอยู่ที่บริเวณอวัยวะเพศ

ระยะที่ 4 อย่างเข้าสู่วัยรุ่น (PUBERTY) อายุประมาณ 14 ปี สัดส่วนขยายขึ้นเป็น 7 ส่วน สัดส่วนใกล้เคียงผู้ใหญ่มากขึ้นจุดกึ่งกลางความสูงอยู่บริเวณกระดูกหัวเหน่า (PUBIS) ในระยะนี้ เด็กผู้หญิงจะมีความเปลี่ยนแปลงทางร่างกายนำหน้าเด็กชายไปประมาณ 2 ปี

ระยะที่ 5 วัยฉกรรจ์ (YOUTH) อายุประมาณ 18 ปี มีสัดส่วนเป็น 7 1/2 ส่วน เป็นสัดส่วนที่ สมบูรณ์ของผู้ใหญ่จุดแบ่งครึ่งความสูงอยู่บริเวณกระดูกหัวเหน่า (PUBIS) หรือประมาณข้อมือขณะตั้ง แขนลง

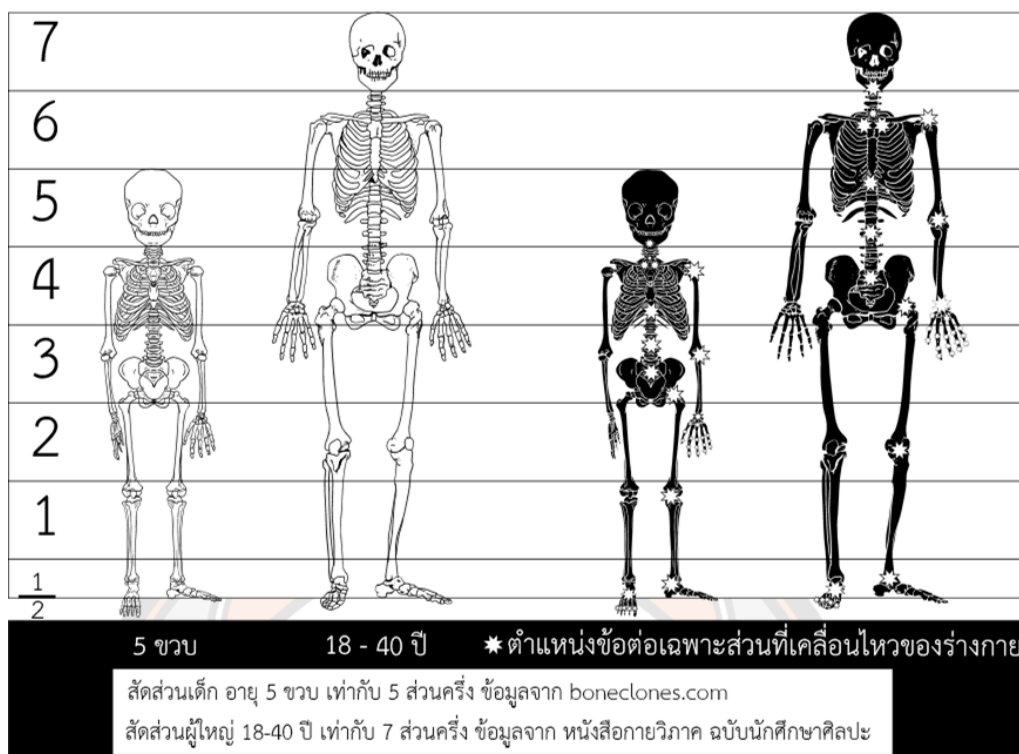
ระยะที่ 6 วัยผู้ใหญ่มีวุฒิภาวะ (MATURITY) อายุประมาณ 40 ปี สัดส่วนจะมีเป็น 7 1/2 ส่วน เช่นกัน เพียงแต่ลักษณะท่าทางค่อนข้างมีไขมันเพิ่มขึ้น

ระยะที่ 7 วัยชรา (SENILITY) อายุประมาณ 80 ปี สัดส่วนลดลงเหลือเพียง 7 ส่วนเท่านั้น

2.2.4 สรุปผลการศึกษากายวิภาค

จากการศึกษาโครงสร้างกระดูกมนุษย์ พบว่า ผู้ใหญ่ มี กระดูกรวมทั้งสิ้น 206 ชิ้น สัดส่วนของ ร่างกาย 7 ส่วนครึ่ง ถึง 8 ส่วน เด็ก อายุ 8 ขวบ มีกระดูกทั้งสิ้น 206 ชิ้น สัดส่วนของร่างกาย 6 ส่วน ครึ่ง และเด็กอายุ 5 ปี ซึ่งได้วิเคราะห์ข้อต่อที่ใช้ในการเคลื่อนไหวร่างกายหลักๆรวมทั้งสิ้น 63 จุด ดังต่อไปนี้

การเคลื่อนไหวของหัวและคอ		2	จุด
การเคลื่อนไหวของ ไหล่ปลาร้า	2x	2	จุด
การเคลื่อนไหวของ ส่วนอก กระดูกสันหลัง รวมไปถึง เขิงกราน		3	จุด
การเคลื่อนไหวของ แขน ข้างละ	2 x	3	จุด
การเคลื่อนไหว ไหว มือข้างละ	2 x	16	จุด
การเคลื่อนไหวของ ขา ข้างละ	2 x	3	จุด
การเคลื่อนไหวของเท้า ข้างละ	2 x	6	จุด



ภาพ 21 แสดงสรุปการวิเคราะห์ข้อต่อของกระดูกมนุษย์

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2562

2.3 ตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน

ในการผลิตตัวละครสำหรับ Stop motion นั้น มีขั้นตอนที่ซับซ้อนมากมาย นอกเหนือจากโครง Armature ที่อยู่ภายในตัวหุ่นแล้ว ยังมีส่วนประกอบด้านวัสดุที่ใช้ทำผิวหนัง ขน หรือแม้กระทั่งเสื้อผ้า เป็นการสร้างสรรค์โมเดลที่มีความละเอียดมาก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวละครในภาพยนตร์สตอปโมชัน และได้จำแนกสัดส่วนตัวของการออกแบบตัวละคร เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ให้ได้ตามวัตถุประสงค์ โดยมีเนื้อหาการสืบค้นข้อมูลดังนี้

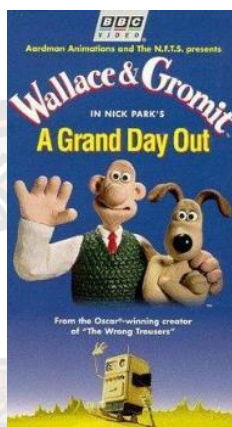
2.3.1 รูปแบบของตัวละครสตอปโมชันแอนิเมชัน

ตัวละครหลัก จากภาพยนตร์ สตอปโมชันที่ประสบความสำเร็จ จำนวน 10 เรื่อง ได้แก่

1. Wallace and Gromit ปี ค.ศ. 1989 (พ.ศ. 2532)
2. The Nightmare Before Christmas ปี ค.ศ. 1993 (พ.ศ. 2536)
3. Corpse Bride ปี ค.ศ. 2005 (พ.ศ. 2548)
4. Coraline ปี ค.ศ. 2009 (พ.ศ. 2552)
5. ParaNorman ปี ค.ศ. 2012 (พ.ศ. 2555)
6. The boxtrolls ปี ค.ศ. 2014 (พ.ศ. 2557)
7. Kubo And The Two Strings ปี ค.ศ. 2016 (พ.ศ. 2559)

8. Early Man ปี ค.ศ. 2017 (พ.ศ. 2560)
9. ISLE OF DOGS ปี ค.ศ. 2018 (พ.ศ. 2561)
10. Missing Link ปี ค.ศ. 2019 (พ.ศ. 2562)

Wallace and Gromit ปี ค.ศ. 1989 (พ.ศ. 2532)



ภาพ 22 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Wallace and Gromit

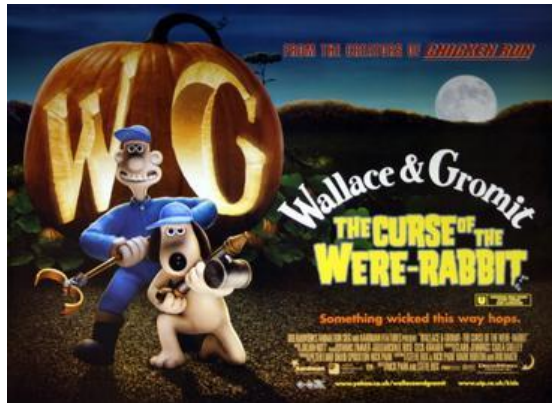
ที่มา: <https://bit.ly/39sXYkU>, 2019

Wallace and Gromit เป็นภาพยนตร์สตอปโมชันที่ออกฉายหลายตอนอย่างต่อเนื่อง ออกแบบและกำกับโดย Nick Park จากบริษัท Aardman Animation ประเทศอังกฤษ โดยออกฉายครั้งแรกในปี 1989 ตรงกับ พ.ศ. 2532 ชื่อว่า **A Grand Day Out with Wallace and Gromit** ซึ่งเป็น ภาพยนตร์สั้น ภาพยนตร์ชุดนี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับบอลลูนนักประดิษฐ์ที่นิสัยดี และมีนิสัยประหลาดชอบชีส เพื่อนของเขาชื่อ Gromit สุนัขผู้รักมนุษย์ที่มีนิสัยรักสงบและซื่อสัตย์



ภาพ 23 แสดงตัวละครหลัก ให้เสียงโดยดารานำชายที่มีชื่อเสียงชื่อ Peter Sallis

ที่มา: <https://youtu.be/80A-jfuTxFk>, 2017



ภาพ 24 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Wallace and Gromit ตอน The curse of were-rabbit
ที่มา: <https://bit.ly/2QBSETJ>, 2019

ด้วยความมุ่งมั่นในการสร้างสตอปโมชันอย่างต่อเนื่องของ Aardman Animation ส่งผลให้ภาพยนตร์เรื่อง Wallace and Gromit ได้รับรางวัล Oscar สาขาแอนิเมชันยอดเยี่ยมในปี 2006 โดยมีชื่อตอนว่า Wallace & Gromit in The Curse of the Were-Rabbit

วิเคราะห์ตัวละคร

โครงสร้างตัวละครคือโครงเหล็ก Armature ส่วนหัวและลำตัวที่ไม่ยืดหยุ่นทำด้วยเรซิน



ภาพ 25 แสดงหุ่นโครงสร้าง

ที่มา: Peter Lord & Brian Sibley, 1998, หน้า 97

ส่วนหัวและใบหน้า แบ่งเป็นสองส่วน ส่วนหัวด้านบนจนถึงท้ายทอยเป็นเรซิน มีลูกตาติดกับส่วนหัว และอีกส่วนสร้างจากดินน้ำมันทำในส่วนของปากที่ขยับ ส่วนตัวละครสุนัขใช้วิธีปั้นดินน้ำมันที่ส่วนหัวและหูยาวๆ แยกออกจากลำตัว เมื่อทำการAnimate จะใช้การถอดเปลี่ยน เพื่อลดเวลาในการทำ



ภาพ 26 แสดงส่วนหัวและใบหน้า

ที่มา: <https://youtu.be/i3CEE9xKKZc>, 2017

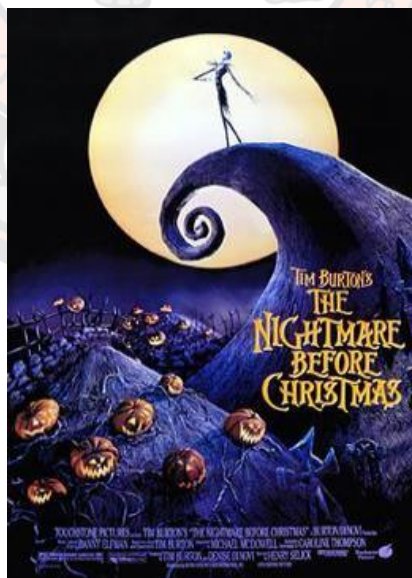
ผิวของตัวละครรวมถึงเสื้อผ้าเครื่องแต่งกายของตัวละครในเรื่อง ใช้ดินน้ำมันตลอดทั้งตัว
สังเกตได้จากมียอยนิ้วมือตามลำตัวและแขนให้เห็นชัดเจน



ภาพ 27 แสดงผิวตัวละคร

ที่มา: <https://youtu.be/i3CEE9xKKZc>, 2017

The Nightmare Before Christmas ปี ค.ศ. 1993 (พ.ศ. 2536)



ภาพ 28 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ The Nightmare Before Christmas

ที่มา: <https://bit.ly/2SJUeFK>, 2019

กำกับโดย Henry Selick แต่ทุกคนมักจะมองว่าภาพยนตร์เรื่องนี้ กำกับโดย Tim Burton ซึ่งเป็นผู้อำนวยการสร้างภาพยนตร์เรื่องนี้ (Producer) เนื่องจาก Tim Burton คือนักสร้างภาพยนตร์ที่มีเอกลักษณ์ชัดเจน ทั้งด้านภาพ ฉาก และการออกแบบตัวละคร ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากลัทธิศิลปะเอ็กเพรสชันนิสม์ และเมื่อพบเห็นเพียงผลงานก็รับรู้ได้ว่าเป็นภาพยนตร์ของเขา เปรียบเสมือนเป็นลายเซ็นของเขาเอง ภาพยนตร์มี Character ที่เด่นชัด โดยมีเนื้อหาเรื่องราวเกี่ยวกับเรื่องผีและคืนวันฮาโลวีน โดยเรื่องราวจะนำเสนอในแง่มุมความต่างระหว่างโลกของวิญญาณ และโลกมนุษย์โดยการนำโทสนีชาวดำมาไว้ในฉากสลับกับภาพสี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างด้านอารมณ์ของภาพได้เป็นอย่างดี

Henry Selick ได้ถูกทาบทามโดยผู้กำกับ Tim Burton ซึ่งกำลังสร้างภาพยนตร์แอนิเมชันสตอปโมชัน ให้กับค่ายดิสนีย์ (Walt Disney) แต่ไม่มีเวลาที่จะกำกับมันเองและต้องการใครสักคนที่จะกำกับและดูแลกระบวนการพัฒนา Henry Selick จึงได้รับการว่าจ้างในฐานะผู้กำกับภาพยนตร์เรื่อง The Nightmare Before Christmas ในปี 1993

วิเคราะห์ตัวละคร

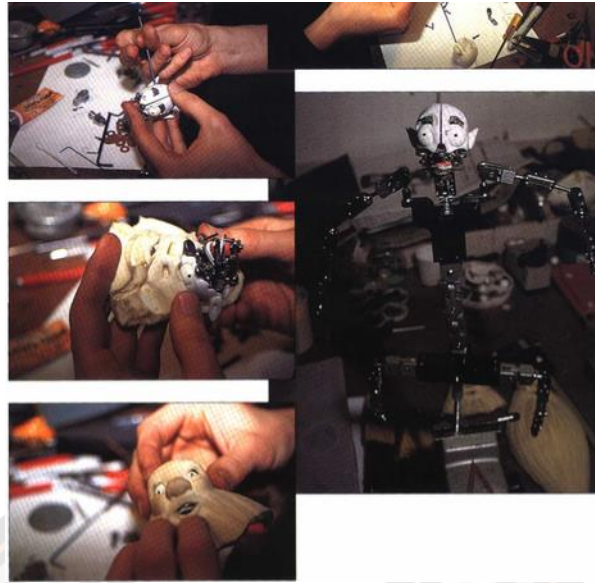
โครงสร้างตัวละครคือโครง Armature ที่ทำจากเหล็กชุบโครเมียมเพื่อกันสนิม โดยจะประกอบโครงสร้างตามรูปแบบของตัวละคร



ภาพ 29 แสดงหุ่นโครงสร้างตัวละครหลัก

ที่มา: Tim Burton's The Nightmare Before Christmas, 1993, หน้า 131

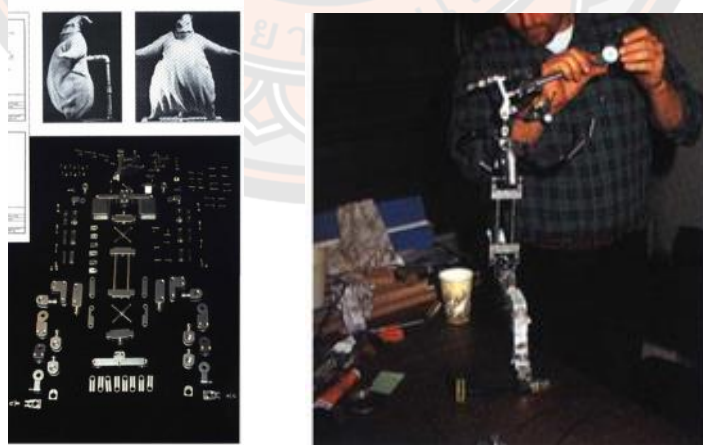
Armature สำหรับหัวซานต้า มีชิ้นส่วนที่เล็ก ราวๆห้าสิบชิ้น ต้องติดตั้งเข้าด้วยกันอย่างแม่นยำ เพื่อให้เขามีช่วงของการแสดงออกทางสีหน้า ดวงตา ปากและ แม้กระทั่งการเคลื่อนไหวคิ้ว ก่อนที่จะประกอบเต็มโครง ข้อต่อต้องแน่นและพอดีกับหัว มีการตรวจสอบการขยับไปหน้าที่มาจาก โทมัส พารา (Thompson, 1993)



ภาพ 30 แสดงหุ่นโครงสร้างตัวละครซานต้า

ที่มา: Tim Burton's The Nightmare Before Christmas, 1993, หน้า 124

โครง Armature ของ Oogie Boogie มีราวๆ 175 ชิ้น ซึ่งผู้สร้างต้องมีความแม่นยำและประกอบชิ้นส่วนออกมาให้ถูกต้องเนื่องจาก Oogie Boogie สูงถึง 2 ฟุต โครง Armature หนักถึง 6 ปอนด์ และจำเป็นต้องทดสอบความยืดหยุ่นของโครงสร้าง เพื่อให้แน่ใจว่ามันจะสามารถยืนได้หลังจากนำไปใส่ชุดแล้ว



ภาพ 31 แสดงหุ่นโครงสร้างของตัวละคร Oogie Boogie

ที่มา: Tim Burton's The Nightmare Before Christmas, 1993, หน้า 126-127

ผิวของตัวละคร จำแนกตามการออกแบบตัวละครแต่ละชนิด โดยเริ่มขึ้นต้นแบบแม่พิมพ์ด้วยดินน้ำมัน เพื่อนำมาสร้างแม่พิมพ์ Mold จากนั้นทำการฉีดโคมยางพาราเข้าไปแล้วนำไปอบ ขั้นตอนนี้มีข้อเสียกับผิวตัวละครที่สีอ่อนๆ มักจะสกปรกร่าง่าย ถ่ายทำได้วันต่อวันเท่านั้นและต้องนำไปรีไซเคิลใหม่

ผิวตัวละครปีศาจ Oogie Boogie เป็นตัวละครขนาดใหญ่ ใช้วิธีการเดียวกันคือตีโคมยางสีเขียวสำหรับผิวของ Oogie Boogie จากนั้นเทส่วนผสมในหลอดฉีดโคมยางพาราลงไปในแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบ โคมจะเกาะอยู่ระหว่างแกนอีพอกซีและตัวแม่พิมพ์ จากนั้นนำออกมาแกะออกและโรยด้วยแป้งเพื่อไม่ให้ยางติดกัน แล้วจึงนำไปอบให้แห้งอีกครั้ง



ภาพ 32 แสดงการตีโคมยางสีเขียว

ที่มา: Tim Burton's The Nightmare Before Christmas, 1993, หน้า 134-135

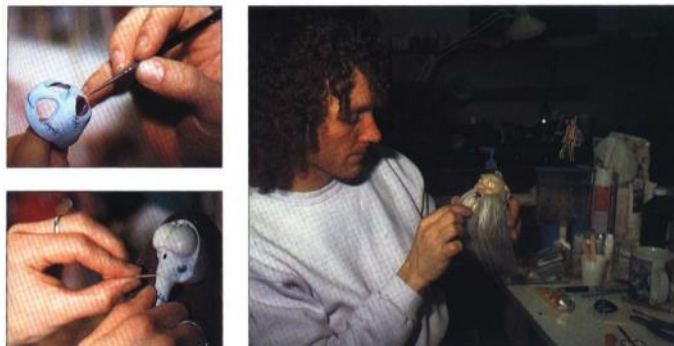
ในตัวละครหลักจะใช้โครงสร้างArmature วางลงไปในแม่พิมพ์ก่อนฉีดน้ำยางลงไปหลังจากนั้นจึงนำไปอบ เมื่ออบเสร็จสิ้นผิวของตัวละครจะมีแผ่นยางติดตามขอบ จึงจำเป็นต้องตัดออก และใช้น้ำยาล้างทำความสะอาดเพื่อซ่อมแซม จากนั้นจึงนำไปทาสีต่อไป



ภาพ 33 แสดงการหล่อแม่พิมพ์

ที่มา: Tim Burton's The Nightmare Before Christmas, 1993, หน้า 136

ขั้นตอนการทำสีเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก สีของตัวละครจะต้องติดและทนทาน ทางทีมงานใช้สีสำหรับทางโคมยางโดยเฉพาะ



ภาพ 34 แสดงการทำสีตัวละคร

ที่มา: Tim Burton's The Nightmare Before Christmas, 1993, หน้า 139

"ผมของ Sally ทำมาจากโคมยางพาราที่เรียงรายไปด้วยตะกั่วจึงสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างแม่นยำ ในขณะที่ซานตาคลอสมีเคราที่ทำจากแกนโคมโดยมีเส้นผมวางบนพื้นผิวด้านบน สำหรับ Wolfman เขาใช้เทคนิคที่เรียกว่าการเจาะซึ่งต้องผลักเส้นผมแต่ละเส้นเข้าสู่พื้นผิวของโคม ด้วยเข็ม เขาใช้ทรงผมหลายแบบเพื่อให้หุ่นแต่ละตัวมีรูปลักษณ์ที่ไม่เหมือนใคร" (DeCarlo, 1993)

ใบหน้าและส่วนหัวของตัวละคร ใช้การพิมพ์โคมยางพาราและตกแต่งให้มีหลากหลายใบหน้า สามารถถอดเปลี่ยนและแสดงอารมณ์ได้ หัวของแจ๊ค ซึ่งเป็นตัวละครหลัก จะผลิออกมาหลายๆ ชิ้น และถูกเก็บไว้ในกล่องตามลำดับหมายเลขเพื่อประสานงานกับสคริปต์ลิปซิงค์



ภาพ 35 แสดงใบหน้าและส่วนหัวของตัวละคร

ที่มา: Tim Burton's The Nightmare Before Christmas, 1993, หน้า 141

เครื่องแต่งกายของตัวละคร มีการสร้างหลากหลายรูป บางตัวใช้ผ้าเป็นส่วนประกอบ และบางตัวใช้โคมยางพาราชนิดแผ่น นำมาตัดต่อกัน



ภาพ 36 แสดงเครื่องแต่งกายของตัวละคร

ที่มา: Tim Burton's The Nightmare Before Christmas, 1993, หน้า 141

Corpse Bride ปี ค.ศ. 2005 (พ.ศ. 2548)



ภาพ 37 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Corpse Bride

ที่มา: Tim Burton's Corpse Bride by Danny Elfman, 2007

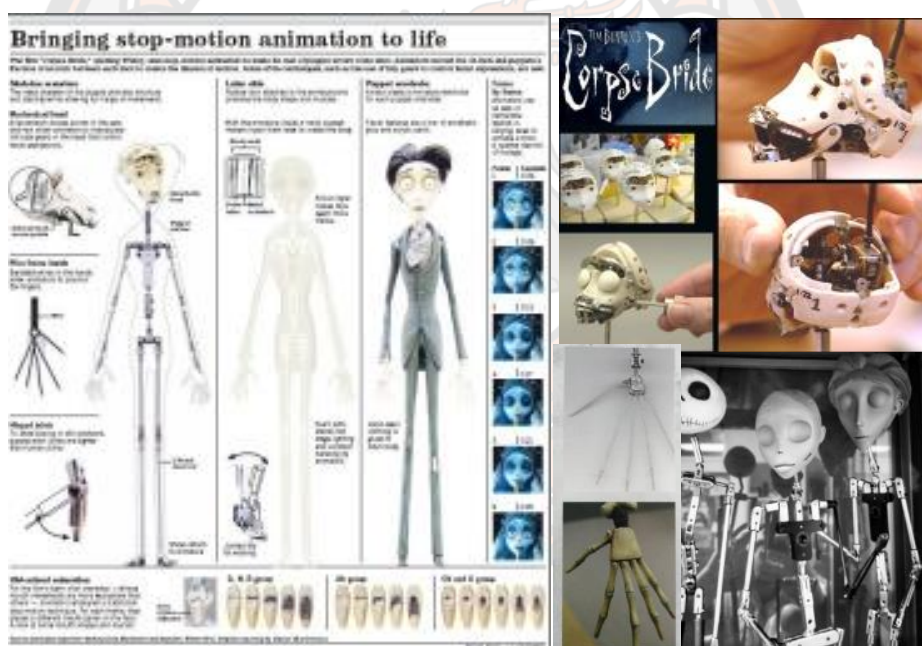
ภาพยนตร์สตอปโมชันแอนิเมชัน เรื่อง Corpse Bride สร้างในปี ค.ศ. 2005 (ปี พ.ศ. 2548) ผู้กำกับคือ Tim Burton อำนวยการสร้างโดย Warner Bros. Family Entertainment ความยาวของเรื่องเวลา 1 ชั่วโมง 17 นาที



ภาพ 38 ส่วนหัวของตัวละครหลัก

ที่มา: Tim Burton's Corpse Bride by Danny Elfman, 2007

วัสดุที่ใช้ในการสร้างพื้นผิวตัวละคร คือวัสดุ Foam latex หรือ ซิลิโคนเป็นวัสดุหลักพื้นฐาน เพราะเป็นวัสดุที่ความอ่อนนุ่ม ไม่เหนียวมาก สามารถบิดงอตัดรูปร่างได้ง่าย รวมถึงการใช้วัสดุจริงเข้ามาเป็นส่วนประกอบเช่นเสื้อผ้า เส้นผม โลหะบางส่วน



ภาพ 39 แสดงวัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นโครงสร้าง

ที่มา: Tim Burton's Corpse Bride by Danny Elfman, 2007

ในส่วนของโครงสร้าง (Armature) นั้นสร้างขึ้นมาจากวัสดุ อะลูมิเนียม เหล็ก ในส่วนโครงสร้างหลัก เช่นลำตัว จุดหมุน จุดบิดงอต่างๆ และใช้วัสดุเรซินพลาสติกอีกจำนวนหนึ่งที่ส่วนหัว ซึ่งในส่วนหัวจะมีกลไกประเภท Clockwork หรือกลไกแบบนาฬิกาสามารถจัดการเรื่องการเคลื่อนไหวส่วนต่างๆของใบหน้าได้ละเอียดและแยกการควบคุมชิ้นส่วนต่างๆบนใบหน้าได้เป็นอย่างดี

Coraline ปี ค.ศ. 2009 (พ.ศ. 2552)



ภาพ 40 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Coraline

ที่มา: <https://bit.ly/39zfOmc>, 2019

กำกับโดย Henry Selick ซึ่งเป็นภาพยนตร์สตอปโมชันเรื่องแรกของสตูดิโอหนังใหม่ชื่อ LAIKA Studio ภาพยนตร์เรื่องนี้ดัดแปลงมาจากนวนิยายของ นีล เกย์แมน (Neil Gaiman) ซึ่ง Henry Selick ได้รับมอบหมายให้เป็นผู้กำกับภาพยนตร์ เนื่องจาก Neil Gaiman เป็นแฟนตัวยงของ "The Nightmare Before Christmas" และไว้วางใจให้ Selick ดัดแปลงงานของเขาสำหรับภาพยนตร์

ภาพยนตร์เรื่องนี้เป็นแฟนตาซีมืด (Dark Fantasy) Coraline ทำรายได้ประมาณ 125 ล้านดอลลาร์ที่บ็อกซ์ออฟฟิศทั่วโลก กลายเป็นภาพยนตร์ที่ประสบความสำเร็จทางการค้ามากที่สุดของ Henry Selick และหลังจากนั้นไม่นานเขาก็ลาออกจาก LAIKA Studio เพื่อไปเซ็นสัญญาระยะยาวกับ Walt Disney

วิเคราะห์ตัวละคร

โครงสร้างตัวละครคือโครง Armature ที่ทำจากเหล็กชุบโครเมียม และสัตว์บางตัวใช้ลวด



ภาพ 41 แสดงหุ่นโครงสร้างของตัวละคร Coraline

ที่มา: <https://bit.ly/39xOqoX>, ม.ป.ป.



ภาพ 42 แสดงนิ้วมือสร้างจากโครงลวดและถอดเปลี่ยนได้

ที่มา: Coraline - Behind The Scenes; <https://youtu.be/kMC4Er8MwaE>, 2017

นิ้วของตัวละคร ลำตัวสร้างด้วยซิลิโคน เทลงไปบนแม่พิมพ์โดยมีโครง Armature อยู่ข้างใน



ภาพ 43 แสดงนิ้วของตัวละคร

ที่มา: Coraline - Behind The Scenes; <https://youtu.be/kMC4Er8MwaE>, 2017

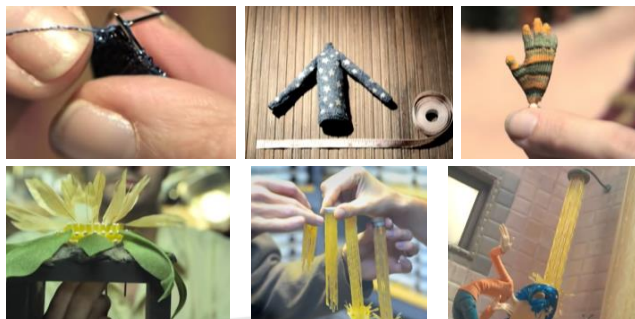
ใบหน้าของตัวละคร สามารถถอดประกอบได้ เปลี่ยนได้ตามการขยับปาก กระพริบตาได้ และภาพยนตร์เรื่องนี้ให้ความพิถีพิถันกับเส้นผมของตัวละครมาก



ภาพ 44 แสดงใบหน้าของตัวละคร

ที่มา: Coraline - Behind The Scenes; <https://youtu.be/kMC4Er8MwaE>, 2017

เสื้อผ้าตัวละครมักทอขึ้นด้วยความประณีต และใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการประยุกต์ใช้
สิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ นำมาประกอบในฉาก



ภาพ 45 แสดงเสื้อผ้าตัวละคร

ที่มา: Coraline - Behind The Scenes; <https://youtu.be/kMC4Er8MwaE>, 2017

ParaNorman ปี ค.ศ. 2012 (พ.ศ. 2555)



ภาพ 46 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ ParaNorman

ที่มา: John DiLillo, <https://bit.ly/2FfaRkN>, 2018

ParaNorman กำกับโดย แซม เฟลล์ และคริส บัทเลอร์ จากบทภาพยนตร์ดั้งเดิมของบัทเลอร์เอง เฟลล์ก็คือผู้กำกับของภาพยนตร์เรื่อง The Tale of Despereaux และ Flushed Away บัทเลอร์ยังเคยทำหน้าที่เป็นสตอรี่บอร์ด ซูเปอร์ไวเซอร์ ให้กับภาพยนตร์เรื่อง Coraline และเป็นศิลปินวาดสตอรี่บอร์ดให้กับภาพยนตร์เรื่อง Tim Burton's Corpse Bride

วัสดุที่ใช้ในการสร้างพื้นผิวตัวละคร ก็ยังเป็นวัสดุ Foam latex หรือ ซิลิโคนเป็นวัสดุหลักพื้นฐาน เพราะเป็นวัสดุที่ความอ่อนนุ่ม ไม่เหนียวมาก สามารถบดงอ ดัดรูปร่างได้ง่าย รวมถึงการใช้วัสดุจริงเข้ามาเป็นส่วนประกอบเช่นเสื้อผ้า เส้นผม ในส่วนของการเคลื่อนไหวใบหน้ามีการใช้วัสดุเรซินจากการพิมพ์สามมิติเพื่อสร้างการเคลื่อนไหวที่เป็นธรรมชาติและนุ่มนวล



ภาพ 47 แสดงวัสดุที่ใช้

ที่มา: The Art and Making of PARANORMAN by Jed Alger, 2012

ในส่วนของโครงสร้าง (Armature) ในเรื่อง Paranorman นั้นสร้างขึ้นมาจากวัสดุ อะลูมิเนียม เหล็ก ในส่วนโครงสร้างหลัก เช่นลำตัว จุดหมุน จุดบิดงอ ต่าง ๆ และใช้วัสดุเรซินพลาสติกอีกจำนวนหนึ่งในส่วนหัว ซึ่งในส่วนหัวจะมีกลไกประเภท Clockwork หรือกลไกแบบนาฬิกาสามารถจัดการเรื่องการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของใบหน้าได้ละเอียด และแยกการควบคุมชิ้นส่วนต่าง ๆ บนใบหน้าได้เป็นอย่างดี

The boxtrolls ปี ค.ศ. 2014 (พ.ศ. 2557)



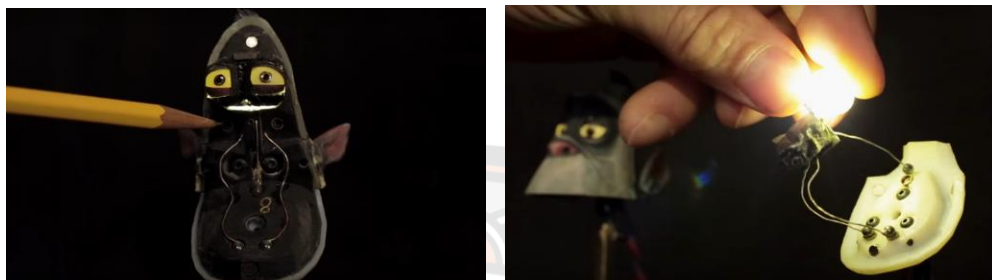
ภาพ 48 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ The boxtrolls

ที่มา: Wikipedia, <https://bit.ly/37DB0pJ>, 2017

ผลงานกำกับโดย Graham Annable และ Anthony Stacchi ผลิตโดยบริษัท LAIKA Studio ประเทศสหรัฐอเมริกา

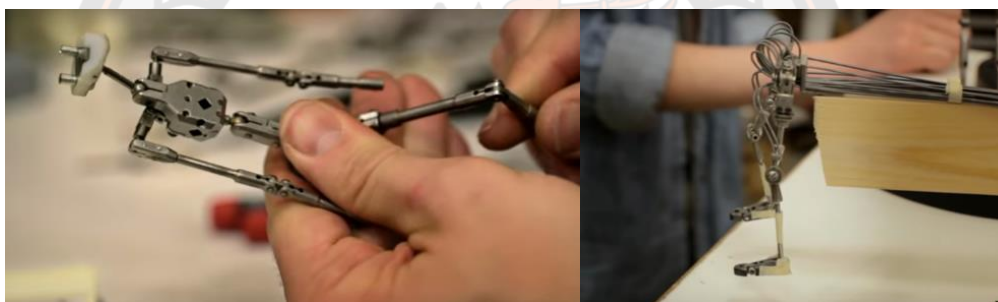
การวิเคราะห์ตัวละคร

โครงสร้างตัวละคร แบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนหัว มีวงจรไฟฟ้า ทำให้ลูกตาของตัวละครเรืองแสงได้



ภาพ 49 แสดงส่วนหัวที่มีวงจรไฟฟ้า

ที่มา: LAIKA | The Boxtrolls | Inside the Box; <https://bit.ly/2sEiTKr>, 2018



ภาพ 50 แสดงส่วนลำตัวพร้อมกล่องคอนโทรล

ที่มา: LAIKA | The Boxtrolls | Inside the Box; <https://bit.ly/2sEiTKr>, 2018

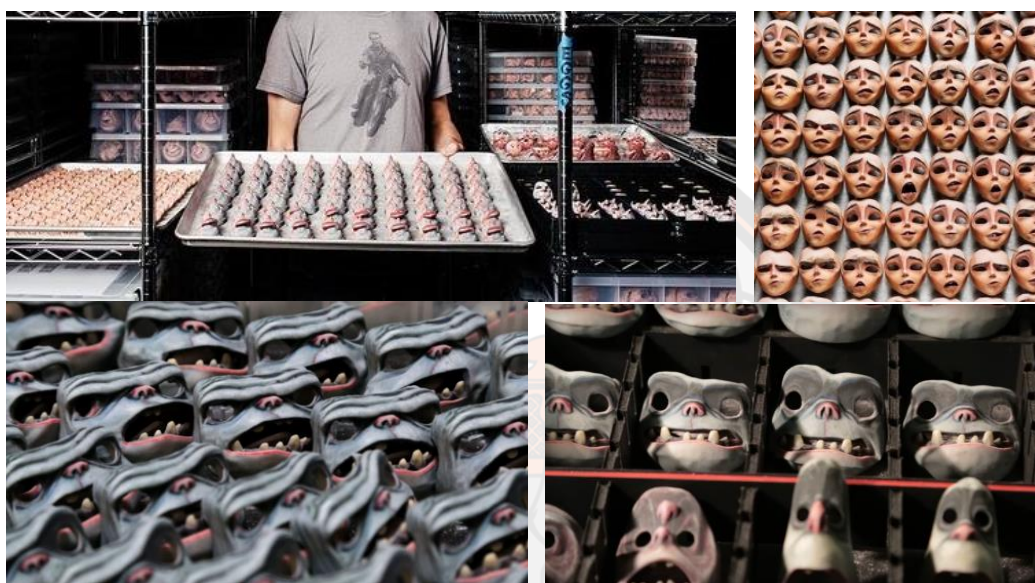
ส่วนลำตัวประกอบด้วยหุ่นโครงสร้าง Armature และโครงเหล็กที่ผลิตขึ้นมาเฉพาะ เนื่องจากตัวคอนโทรลควบคุมอยู่ในกล่อง



ภาพ 51 แสดงภาพกล่องควบคุม

ที่มา: The Boxtrolls: Behind the Scenes Trailer, <https://bit.ly/39x8lEo>, 2013

ใบหน้าตัวละครพิมพ์ด้วยเครื่องสามมิติ ชนิดสี มีหลายแบบเพื่อแสดงการพูดและความรู้สึก Brian McLean หัวหน้าฝ่ายสร้างสรรค์แอนิเมชันและวิศวกรรมทดแทน ใน Face Library ที่ LAIKA ซึ่งมีชิ้นส่วนใบหน้า 3 มิติที่พิมพ์นับหมื่น แม้ว่าจะมีการใช้การรวมใบหน้าหลายครั้งในหลาย ๆ ฉาก บน The Boxtrolls เป็นครั้งแรกในประวัติศาสตร์ของ LAIKA ทีมได้สร้างใบหน้าที่ไม่เหมือนใครหลายร้อยใบหน้าที่ใช้ในฉากเดียวแล้วไม่เคยกลับมาอีกเลย



ภาพ 52 แสดงชิ้นส่วนใบหน้า 3 มิติที่พิมพ์นับหมื่น

ที่มา: Jose Mandojana , <https://bit.ly/39pQWgK>, 2014

ผิวของตัวละครมนุษย์ทำจากซิลิโคน และกล่องหุ้มตัวคอนโทรลทำจากกระดาษ ในฐานะหัวหน้าฝ่ายสร้างสรรค์ การประดิษฐ์หุ่นเชิด จอร์จ เฮย์นส์ เป็นผู้ควบคุมงานสร้างหุ่นของ The Boxtrolls จำนวนมาก ซึ่งต้องทำให้แน่ใจว่าตัวละครของ LAIKA ดูสวยงามและเข้ากับโลกของภาพยนตร์ได้ แอนิเมเตอร์ต้องการให้พวกเขาทำ (Mandojana, 2014)



ภาพ 53 แสดงหุ่นโครงสร้างของบริษัท LAIKA

ที่มา: Jose Mandojana , <https://bit.ly/39pOWgK>, 2014



ภาพ 54 แสดงกลุ่มควบคุมตัวละคร

ที่มา: LAIKA | The Boxtrolls | Inside the Box: <https://bit.ly/2MPkhYe>, 2018

ชุดและเครื่องแต่งกายหุ่นที่มีความยืดหยุ่นสามารถขยับงอแขนขาได้ ทุกอย่างล้วนทำด้วยมือ ซึ่งเป็นการทำงานที่ประณีต เป็นรูปแบบงานศิลปะที่ซับซ้อน ซึ่งเกิดจากการทำงานร่วมกันของช่างเทคนิคและศิลปินผู้มีความสามารถ



ภาพ 55 แสดงรายละเอียดของตัวละคร

ที่มา: Jose Mandojana , <https://bit.ly/39pOWgK>, 2014

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



ภาพ 56 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Kubo And The Two Strings

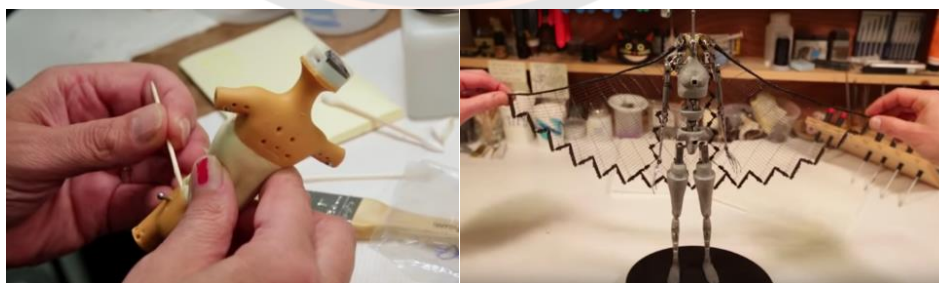
ที่มา: <https://bit.ly/35hXXgy>, 2019

กำกับโดย Travis Knight ซึ่งเป็น ประธานและ CEO ของ บริษัท LAIKA ประเทศสหรัฐอเมริกา Kubo and the Two Strings เป็นภาพยนตร์สตอปโมชัน ที่เต็มไปด้วยฉากแอ็คชั่นผจญภัย ประกอบด้วยตัวละครมนุษย์และสัตว์ ซึ่งมีเวทมนตร์เข้ามาเกี่ยวข้อง มีเรื่องราวเกี่ยวกับความรักของครอบครัว คุโบะเด็กหนุ่มผู้ถือดาบขามิซัน (กีตาร์ญี่ปุ่น) และดาซายของเขาถูกขโมยไปในช่วงวัยทารก มาพร้อมกับลิงหิมะและตัวงมมนุษย์เขาจะต้องปราบน้องสาวของแม่ที่เสียหายและเจ้าเรเด้นปู่ผู้วิหิงโยของเขา (เดอะมูนคิง) ผู้รับผิดชอบในการขโมยดาบขามิซันของเขา

การวิเคราะห์ตัวละคร

Kubo and the Two Strings ใช้เทคนิคสตอปโมชัน ผสมผสานกับ 3D Animation ในบางฉากที่มีการต่อสู้และต้องใช้ Special Effect เข้าช่วย โดยในส่วนของ Stop motion มีเทคนิคในการสร้างตัวละคร ตามแบบฉบับของ สตูดิโอ LAIKA ดังนี้

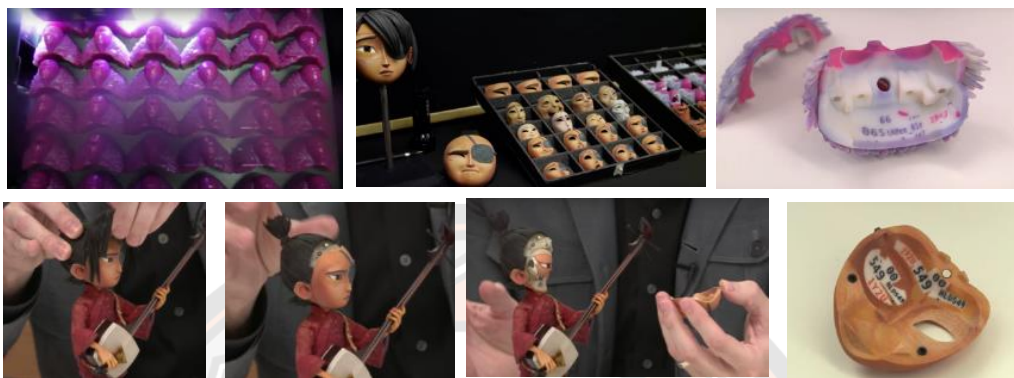
โครงสร้างตัวละคร เป็นหุ่นโครงสร้าง Armature ทำจากเหล็กและพลาสติก ซึ่งวางโครงสร้างตามแต่ละเอกลักษณ์ของตัวละคร



ภาพ 57 แสดงหุ่นโครงสร้าง

ที่มา: Go Behind the Scenes of Kubo and the Two Strings | stop-motion and voice production: <https://bit.ly/2QHdHEw>, 2016

ใบหน้า prop และ ชุดประกอบตัวละครบางตัว ใช้เทคนิคพิมพ์ 3 มิติ ซึ่ง LAIKA Studio ได้พัฒนาระบบพิมพ์ 3 มิติ ร่วมกับ Z Corp ในการสร้างเครื่องพิมพ์ผงสี ทำให้ลดระยะเวลาและไม่ต้องลงสีใบหน้าทุกชิ้นด้วยมือ



ภาพ 58 แสดงใบหน้าตัวละคร

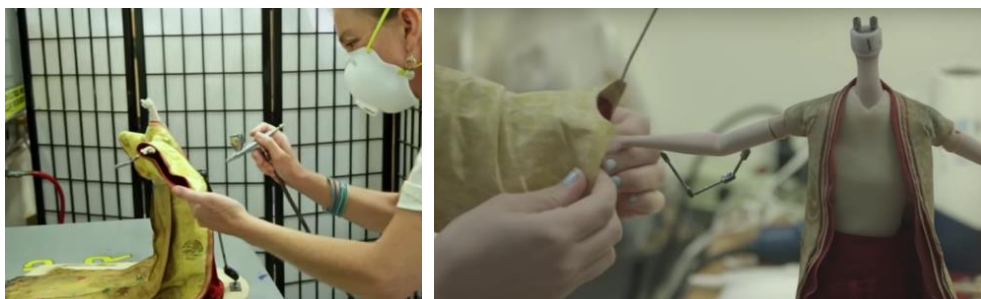
ที่มา: All the PUPPET SECRETS from animation Kubo and the Two Strings:
<https://youtu.be/Vhpq7-c911A>, 2016

วัสดุหุ้มโครง Armature ของตัวละครทำจากยางซิลิโคนบางส่วนเช่นมือ และซ่อนโครง Armature ด้วยเสื้อผ้าแทน ซึ่งช่วยทำให้การ Animate ง่ายขึ้น และเสื้อผ้ายังเคลือบด้วยวัสดุที่ทำให้ผ้าไม่คืนตัวเวลา Animate อีกด้วย



ภาพ 59 แสดงวัสดุหุ้มหุ่นโครงสร้าง

ที่มา: All the PUPPET SECRETS from animation Kubo and the Two Strings:
<https://youtu.be/Vhpq7-c911A>, 2016



ภาพ 60 แสดงเสื่อผ้าตัวละคร

ที่มา: Go Behind the Scenes of Kubo and the Two Strings | stop-motion and voice production: <https://bit.ly/39J7twC>, 2016

Early Man ปี ค.ศ. 2017 (พ.ศ.2560)



ภาพ 61 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Early Man

ที่มา: <https://bit.ly/2Qi4Bz2>, 2019

กำกับโดย Nick Park ผู้สร้าง Wallace and Gromit เขียนโดย Mark Burton และ James Higginson จากบริษัท Aardman Animations ประเทศอังกฤษ มีเรื่องราวเกี่ยวกับชนเผ่าของชาวยุคหินโบราณที่อาศัยอยู่ในหุบเขา ซึ่งเป็นยุคที่ต้องปกป้องดินแดนของพวกเขาจากทองสัมฤทธิ์โดยใช้วิธีเอาชนะผู้บุกรุกโดยการแข่งขันฟุตบอล

การวิเคราะห์ตัวละคร

ตัวละครมีความเป็นเอกลักษณ์และแบบฉบับของบริษัท Aardman Animation คือเป็นตัวละครที่สร้างจากดินน้ำมัน (Clay Animation) และหน้าตาของตัวละครก็คล้ายคลึงกับเรื่องก่อนๆ แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาตัวละครให้มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยนำเรซินและซิลิโคนเข้ามาประกอบสร้างตัวละคร และใช้ดินน้ำมันเพียงบางส่วน ซึ่งยังคงความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวในแบบสตอปโมชันดั้งเดิมอยู่ การออกแบบตัวละครสามารถจำแนกลักษณะดังนี้

โครงสร้างของตัวละคร



ภาพ 62 แสดงโครงสร้างของตัวละคร

ที่มา: The Stop-Motion Puppets of Aardman Animations!: <https://bit.ly/2sFL16E>, 2018

1. โครงสร้างตัวละคร เป็นหุ่นโครงสร้าง Armature ทำจากเหล็ก มีข้อต่อสามารถถอดประกอบส่วนหัว และตัวได้ โครงกระดูกขาและแขน สามารถดัดแปลงให้ยาวหรือสั้นได้ตามโครงสร้างของการออกแบบตัวละคร

2. ส่วนหัวของตัวละคร สามารถถอดออกจากตัวได้ และมีตัวล็อกที่แตกต่างกันเพื่อเปลี่ยนใส่ปากของตัวละครขณะพูด (Facial) ส่วนหัวด้านบนติดแม่เหล็กไว้สำหรับใส่วิกผมที่ทำจากเส้นด้ายและไหมพรม



ภาพ 63 แสดงใบหน้าของตัวละคร

ที่มา: The Stop-Motion Puppets of Aardman Animations!: <https://bit.ly/2sFL16E>, 2018



ภาพ 64 แสดงผิวของตัวละครที่ผสมวัสดุต่างๆ ไว้ด้วยกัน เช่น ส่วนมือคือยางซิลิโคน ส่วนหัวคือเรซิน และส่วนปาก (Facial) คือดินน้ำมัน

ที่มา: The Stop-Motion Puppets of Aardman Animations!: <https://bit.ly/2sFL16E>, 2018

3. ใบหน้าและวัสดุหุ้มตัวละครทำจาก เรซิน และซิลิโคน โดยใช้ดินน้ำมันเพียงบางส่วนเท่านั้น มีการทำแม่พิมพ์สำหรับซิลิโคน และออกแบบผิวให้คล้ายกับดินน้ำมัน บางส่วนของใบหน้าที่ใช้ยับ เช่น ปากตัวละคร จะใช้ดินน้ำมันที่ ทางบริษัท Aardman มีเครื่องนวดดินให้ได้เฉดสี และความเหนียวตามสีตัวละครนั้นๆ



ภาพ 65 แสดงเครื่องนวดดินน้ำมันของบริษัท Aardman Animation ใช้ผสมสีดินน้ำมัน

ที่มา: <https://bit.ly/36jX6NJ>, 2018



ภาพ 66 แสดงเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกายของตัวละคร มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการทำแม่พิมพ์ซิลิโคน แขนและขาของตัวละคร เนื่องจากต้องยึดตามลักษณะของ Character design ซึ่งทำตามแบบเฉพาะของตัวละครนั้นๆ

ที่มา: The Stop-Motion Puppets of Aardman Animations!: <https://bit.ly/2sFL16E>, 2018

ISLE OF DOGS ปี ค.ศ. 2018 (พ.ศ.2561)



ภาพ 67 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Isle of Dogs

ที่มา: <https://bit.ly/2Qj4Bi3>, 2019

กำกับโดย Wes Anderson การผลิตเริ่มขึ้นในเดือนตุลาคม 2559 ที่สตูดิโอ 3 แห่งในทางตะวันออกเฉียงของกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ แพนกอนิเมชันรวมถึงผู้คนจำนวนมากเคยร่วมสร้างภาพยนตร์เรื่อง Fantastic Mr. Fox ตัวละครหลักในเรื่อง ถูกสร้างขึ้นราวๆ 1,100 ตัว และ เกือบ 20,000 ใบหน้า ตัวประกอบฉากประมาณ 2,000 ตัว โดยช่างฝีมือจำนวน 12 คน ที่ทำงาน 6 วันต่อสัปดาห์ รายละเอียดของตัวละครหลักใช้เวลาสร้างเฉลี่ยสองถึงสามเดือน

ภาพยนตร์เรื่องนี้ เล่าเรื่องราวของประเทศญี่ปุ่นในอนาคตสมมติที่โรคไข้หวัดหมาแพร่พันธุ์ทำให้เมืองเมงาซากิออกคำสั่งให้นำเอาหมาทุกตัวไปทิ้งที่เกาะขยะ และวันหนึ่ง อาตาริ โคบายาชิ ได้

ขโมยเครื่องบินไปยังเกาะดังกล่าวเพื่อตามหาหมาชื่อ สปอต ในที่นั้นเขาได้รับการช่วยเหลือจากหมาๆ ที่รักเด็ก โดยที่เด็กชายก็ไม่ว่าแผนการกำจัดหมาครั้งนี้มีการหวังผลทางการเมืองซุกซ่อนอยู่

การวิเคราะห์ตัวละคร



ภาพ 68 แสดงหุ่นโครงสร้างตัวละคร

ที่มา: ISLE OF DOGS | "Making of: Puppets" Featurette; <https://bit.ly/2rODRg2>, 2018

โครงสร้างทำจากเหล็ก เป็นหุ่นโครงสร้าง Armature



ภาพ 69 แสดงผิวของตัวละครทำจากซิลิโคน โดยสร้างแม่พิมพ์ด้วยดินน้ำมัน

ที่มา: ISLE OF DOGS | "Making of: Puppets" Featurette; <https://bit.ly/2rODRg2>, 2018



ภาพ 70 แสดงใบหน้าของตัวละครสามารถถอดเปลี่ยนได้ทำจากแม่พิมพ์ยางซิลิโคนและเรซิน
ที่มา: ISLE OF DOGS | "Making of: Puppets" Featurette; <https://bit.ly/2rODRg2>, 2018



ภาพ 71 แสดงเส้นขนและเส้นผมของตัวละครมีความละเอียดมาก
ที่มา: ISLE OF DOGS | "Making of: Puppets" Featurette; <https://bit.ly/2rODRg2>, 2018

Missing Link ปี ค.ศ. 2019 (พ.ศ.2562)



ภาพ 72 แสดงโปสเตอร์ภาพยนตร์ Missing Link

ที่มา: <https://bit.ly/2MR5Q60>, 2019

Missing Link เป็นภาพยนตร์แอนิเมชันที่กำกับโดย คริส บัตเลอร์ (Chris Butler) ซึ่งเคยผ่านการกำกับผลงานมาแล้ว นั่นคือ ParaNorman (2012) เมื่อ 6 ปีก่อน และเป็นหนึ่งในทีมผู้สร้างแอนิเมชันที่กวาดรางวัลมาแล้วมากมายอย่างเรื่อง Kubo and the Two Strings (2016)

การวิเคราะห์ตัวละคร

Anne Dujmovic(2019) ใบหน้าตัวละคร ผลิตจากเครื่องพิมพ์ LAIKA 3D ซึ่งพิมพ์ได้มากกว่า 106,000 หน้าและที่สำคัญคือพิมพ์ด้วยผงสี การพัฒนาระบบพิมพ์ 3 มิติ ในเรื่อง Missing Link นั้นเป็นก้าวกระโดดครั้งใหญ่จากก้าวแรกในภาพยนตร์เรื่องแรก โครอลไลน์ มีการพิมพ์ ใบหน้าออกมาประมาณ 20,000 ใบหน้าและต้องทาสีด้วยมือ แอนิเมเตอร์จำต้องใช้ใบหน้าหุ่น เพื่อเปลี่ยนมากถึง 24 ครั้งต่อวินาที



ภาพ 73 แสดงใบหน้าตัวละครที่ผลิตด้วยเครื่องพิมพ์ผงสี 3 มิติ

ที่มา: Anne Dujmovic, <https://cnet.co/2SONI0C>, 2019

เทคนิคการเปลี่ยนแทนที่ใบหน้าทีละชั้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพหุ่นที่สวมหน้าสลับไปเรื่อยๆ แต่ละใบหน้าแตกต่างกันเล็กน้อยเป็นการแสดงแอนิเมชันอย่างละเอียด สำหรับภาพยนตร์เรื่องนี้ผู้กำกับ Chris Butler ได้วางแผนร่วมกับแอนิเมเตอร์ไว้ล่วงหน้าว่าการแสดงออกเหล่านั้นจะเป็นเช่นไร



ภาพ 74 แสดงใบหน้าตัวละครที่ผลิตด้วยเครื่องพิมพ์ผงสี 3 มิติ

ที่มา: Anne Dujmovic, <https://cnet.co/2SONI0C>, 2019

โครงสร้างตัวละคร

Character Mr. Link นั้นแต่ละ Armature ของเขามีส่วนประกอบมากกว่า 250 ชิ้น ทำให้ตัวละครมีการเคลื่อนไหวคล้ายมนุษย์ โครงสร้างหลักประกอบด้วย โครงเหล็ก ผสมอลูมิเนียม มีการหุ้มด้วยพลาสติก หรือซิลิโคนอีก 1 ชั้น เพื่อให้ตัวละครพองออก เนื่องจาก Mr. Link มีสัดส่วนที่ท่อนบนใหญ่ และท่อนล่างเล็ก จึงต้องลดปริมาตรของร่างกายให้เบาที่สุด



ภาพ 75 แสดงใบหน้าตัวละครที่ผลิตด้วยเครื่องพิมพ์ผงสี 3 มิติ

ที่มา: Anne Dujmovic, <https://cnet.co/2SONI0C>, 2019

2.3.2 สัดส่วนของตัวละคร

อนัน วาโษะ (2561) สัดส่วนตัวละครแอนิเมชัน หรือ สัดส่วนตัวการ์ตูนนั้น มีความแตกต่างจากสัดส่วนของมนุษย์ปกติ ตัวละครจะถูกดัดแปลงให้ย่อลงมาจากสัดส่วนมนุษย์ หรือ ดัดแปลงให้ผิดไปจากวัย และอายุของตัวละคร ยกตัวอย่างเช่น วัยกลางคน สามารถออกแบบให้มีสัดส่วน 2 ส่วน – 3 ส่วนได้ โดยทำให้หัว ขา และมือ มีขนาดใหญ่กว่าปกติ ซึ่งสัดส่วนผิดเพี้ยนเหล่านี้ทำให้ตัวละคร มีเสน่ห์ น่ารัก และทำให้ผู้ชมเกิดความรู้สึกชื่นชอบในการ์ตูนเรื่องนั้น



ภาพ 76 แสดงเปรียบเทียบลักษณะของชายวัยกลางคนในแต่ละสัดส่วนที่แตกต่างกัน

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2562

ตัวละครสตอปโมชันเป็นตัวละครที่ผลิตขึ้นด้วยฝีมือของศิลปิน มีลักษณะคล้ายกับ Figure หุ่นที่นักสะสมของเล่นหลงใหล ซึ่งเป็นตัวละครที่จับต้องได้ แตกต่างกันว่า ตัวละครสตอปโมชัน มีโครงสร้าง Armature อยู่ภายใน จึงสามารถเคลื่อนไหวในโลกภาพยนตร์ได้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้าง Armature เฉพาะตัวละครเอก ในภาพยนตร์สตอปโมชัน จำนวน 10 เรื่อง โดยจำแนกการศึกษาดังต่อไปนี้

- ข้อมูลเบื้องต้นของตัวละครสตอปโมชัน
- ด้านสัดส่วนตัวละครและการตัดทอนโครงสร้างกระดูก
- การออกแบบตัวละครและ Armature

2.4. หุ่นโครงสร้าง Armature ที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรม

หุ่น Armature นอกจากจะนำไปใช้ในการผลิตตัวละครสำหรับภาพยนตร์สตอปโมชันแล้ว ยังมี การพัฒนาและผลิตให้ประชาชนทั่วไป สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาตัวอย่าง โครงสร้าง Armature ที่ผลิตอยู่ในท้องตลาดตั้งแต่อดีตจนถึงยุคปัจจุบัน โดยจำแนกเป็นขั้นตอนดังนี้

- ประวัติและการพัฒนาหุ่น Armature
- การแบ่งประเภทของ Armature ตามรูปแบบการใช้งาน
- วิเคราะห์การออกแบบ รูปร่าง รูปทรง การประกอบโครงสร้าง Armature
- วิเคราะห์วัสดุที่ใช้
- ศึกษาด้านการเคลื่อนไหวของข้อต่อ เพื่อหาข้อดีและข้อเสีย

โดยมีรายการที่ศึกษาทั้งหมด 12 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

2.4.1 หุ่นโครงสร้าง Cyclops ของ Ray Harryhausen ปี 1957 ตรงกับปี พ.ศ. 2500

2.4.2 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ TED SYDOR

2.4.3 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tom Brierton ปี พ.ศ. 2545

2.4.4 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tetsu Kawamura ปี พ.ศ. 2562

2.4.5 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Animation Toolkit ปี พ.ศ. 2562

2.4.6 หุ่นโครงสร้าง Armatures Creature Kit ของ บริษัท Aardman ปี พ.ศ.2562

2.4.7 หุ่นโครงสร้าง stickfas ปี พ.ศ. 2545-2562

2.4.8 หุ่นโครงสร้าง ModiBot Mo ปี พ.ศ. 2562

2.4.9 หุ่นโครงสร้าง Stickybones ปี พ.ศ. 2562

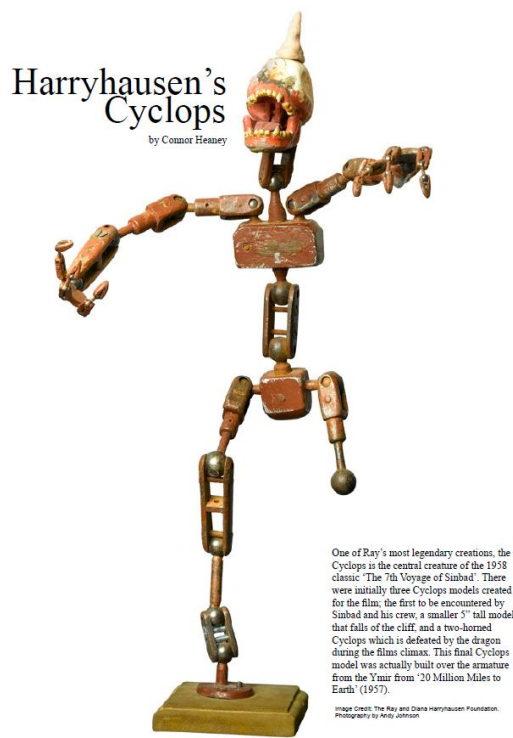
2.4.10 หุ่นโครงสร้าง Armature Nine (หรือ A9-RIG) ปี พ.ศ. 2555 -2562

2.4.11 หุ่นโครงสร้าง Gemobot ปี พ.ศ. 2015-2017

2.4.12 หุ่นโครงสร้าง Skelly The Skeleton ปี พ.ศ. 2562

2.4.1 หุ่นโครงสร้าง Cyclops ของ Ray Harryhausen

หุ่นโครงสร้าง Cyclops ของ Ray Harryhausen ปี 1957 ตรงกับปี พ.ศ. 2500



ภาพ 77 แสดงหุ่น Cyclops ของ Ray Harryhausen

ที่มา: มุลนิธิ Ray และ Diana Harryhausen, Andy Johnson, ม.ป.ป.

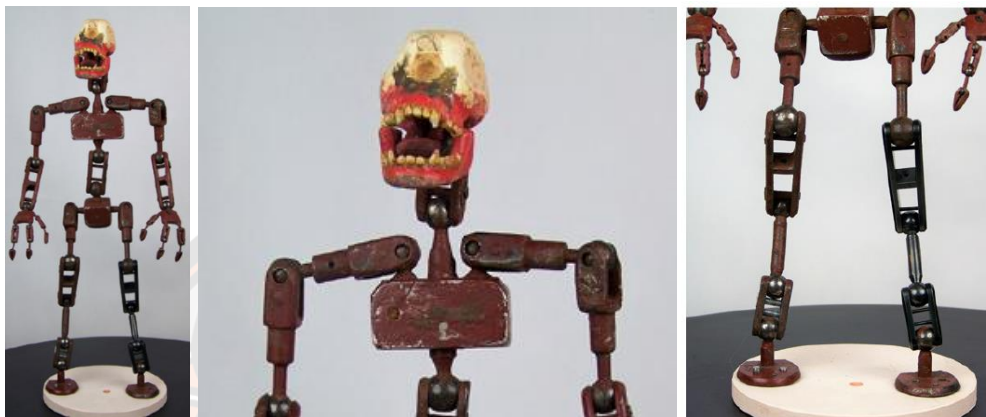


ภาพ 78 แสดงหุ่นโครงสร้างในฉาก

ที่มา: The 7th Voyage of Sinbad - Magic Barrier SonyPictureDVD, 2008

ข้อมูลเบื้องต้น

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



ภาพ 79 แสดงโครง Armature ของหุ่น Cyclop

ที่มา: The Ray and Diana Harryhausen Foundation, Stop motion magazine, หน้า 68

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ลักษณะและพื้นผิว

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

ส่วนหัว

ส่วนหัวสร้างขึ้นจากเรซิน ตกแต่งคล้ายโครงกระดูกของสิ่งมีชีวิตตาเดียว กรามล่างและลิ้นสามารถขยับได้

ส่วนลำตัว

ส่วนของลำตัวมีทั้งหมด 3 ชั้น สามารถบิดโค้งงอได้คล้ายการเคลื่อนไหวของมนุษย์

ชั้นที่ 1 ลำตัวช่วงบน คือส่วนของกระดูกคอ ลงมาถึง ช่วงอกมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า คล้ายกับโครงกระดูกอกของมนุษย์

ชั้นที่ 2 ลำตัวช่วงกลาง คือส่วนช่วงท้อง มีความยาวคล้ายกระดูกสันหลัง เป็นเขี้ยวรองรับลูกเหล็กกลมๆของช่วงบนและช่วงล่าง

ชั้นที่ 3 ลำตัวช่วงล่าง มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋า แทนกระดูกเชิงกรานของมนุษย์ มีแกนเหล็กกลมๆยื่นออกไป 3 ด้าน ได้แก่ด้านบน เชื่อมต่อกับเขี้ยวของลำตัวช่วงกลาง ด้านข้างทั้ง 2 ด้าน ทางออก แทนกระดูกสะโพก มีแกนเหล็กกลมๆเพื่อเชื่อมต่อกับขา

ส่วนแขนและขา

แขน แบ่งออกเป็น 4 ส่วน เริ่มตั้งแต่กระดูกไหปลาร้า ไปถึงฝ่ามือ ได้แก่

ชั้นที่ 1 ส่วนของไหปลาร้า และไหล่ มีรอยต่อเริ่มจากลำตัวท่อนบน ขนานกับพื้น สามารถยกไหล่ขึ้น-ลง และหน้า-หลังได้

ชั้นที่ 2 ส่วนแขนท่อนบน ด้านบนเป็นเขี้ยวรับเหล็กกลมจากไหล่ และท่อนล่างเป็นเหล็กกลม แทนข้อศอก

ชั้นที่ 3 แขนท่อนล่าง มีลักษณะเป็นเขี้ยวรับทั้งแขนท่อนบนและข้อมือ สามารถหมุนได้อย่างอิสระทุกทิศทาง เนื่องจากโครงกระดูกแขนท่อนล่างของมนุษย์ ประกอบด้วยกระดูกชิ้นใหญ่ๆ ที่สามารถบิดแขนและข้อมือได้นั่นเอง

ชั้นที่ 4 ข้อมือ มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กแบนๆ มีลูกเหล็กกลมเชื่อมกับแขนท่อนล่าง สามารถหมุนไปมาได้ทุกทิศทาง มีนิ้วมือ 3 นิ้ว และทุกนิ้วประกอบด้วยเหล็กกลมขนาดเล็ก และเขี้ยวเหล็กปลายนิ้วแหลม

ขา มีลักษณะของโครงกระดูกสัตว์เท้ากบ เนื่องจากเป็นโครงกระดูกของสัตว์ประหลาดในภาพยนตร์ มีทั้งหมด 5 ชั้น ไม่มีปลายเท้า สามารถดีดให้งอตามลักษณะของสัตว์เท้ากบได้

2.4.2 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ TED SYDOR



ภาพ 80 แสดงหุ่นโครงสร้าง Armature ของ TED SYDOR

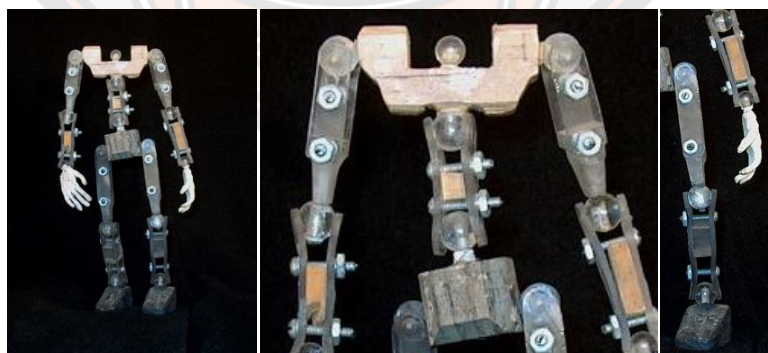
ที่มา: Ted Sydor Stop motion magazine, หน้า 6

ข้อมูลเบื้องต้น

TED SYDOR เป็นผู้มีความทักษะในการผลิต หุ่นโครงสร้าง Armature ที่ยอดเยี่ยมและมีรูปลักษณ์สง่างาม TED ได้รับการศึกษาด้านปติมากรรม จาก Middlesex County College, นิวเจอร์ซีย์ในปี 1991 ที่นั่นเองคือจุดเริ่มต้นของการทดลองทำหุ่นโครงสร้าง Armature เพื่องานแอนิเมชันสตอปโมชันของเขา และความรู้นี้ได้ส่งผลให้เขาออกแบบและสร้างขึ้นส่วน Armature ของสตอปโมชัน อีกหลายเรื่อง รวมไปถึงผลงานในพิพิธภัณฑ์หรือแกลเลอรีหลายแห่ง

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ผลงานผลิตโครง Armature ของ Ted มาจากโรงงานเล็กๆของเขา ชื่อ Trik Film Effects ซึ่งมีหลากหลายชนิดโดยจำแนกตามลักษณะโครงสร้างของตัวละคร ดังนี้



ภาพ 81 แสดง Armature ชิ้นแรกของ TED SYDOR

ที่มา: Ted Sydor, <http://trikfx.com/armatures>, 1991

ลักษณะและพื้นผิว ผลิตจาก พลาสติก และไม้ สูงประมาณ 10 นิ้ว ใช้น็อตในการยึดชิ้นส่วนเข้าหากัน มีการใช้พลาสติกชนิดหัวบอล แทนจุดหมุนตามข้อต่อต่างๆของร่างกาย

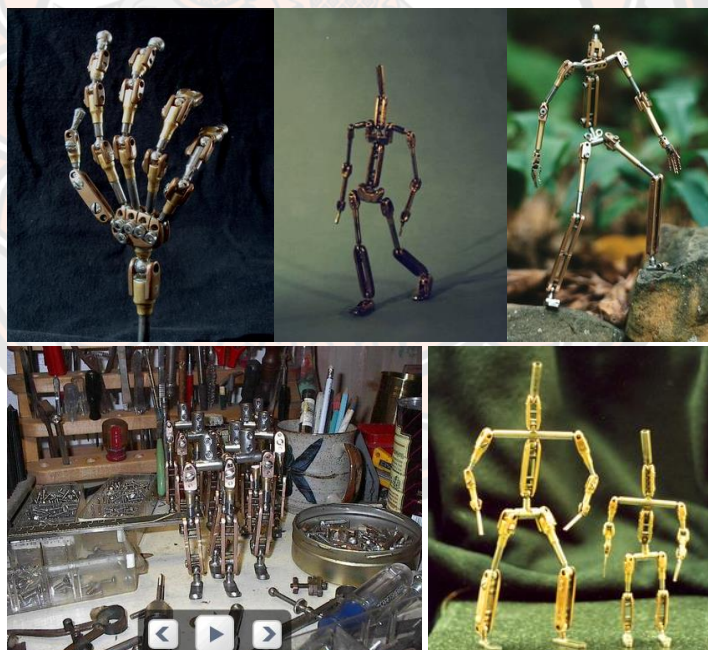
ส่วนหัว ไม่ปรากฏส่วนหัวที่เป็นโครงสร้างของหุ่น

ส่วนลำตัว ช่วงอกและเชิงกรานทำจากไม้และติดด้วยพลาสติกทรงกลม กลางลำตัวมีเข้าพลาสติก 2 ชั้นประกบกันถูกยึดด้วยน็อต 2 ตัว ตรงกลางมีไม้สี่เหลี่ยมลูกเต๋าเป็นตัวกันพลาสติกไม่ให้โค้งงอ แต่ทำได้ไม่ตึก เนื่องจากแผ่นพลาสติกมีการยืดและหดตัว

ส่วนแขนและขา แขนและขาท่อนบน เป็นพลาสติกที่มีปลายด้านหนึ่งเป็นหัวบอล แขนและขาท่อนล่างมีลักษณะคล้ายลำตัวส่วนกลาง มีเข้าพลาสติก 2 ชั้นประกบกัน ถูกยึดด้วยน็อต 2 ตัว ตรงกลางมีไม้สี่เหลี่ยมลูกเต๋าเป็นตัวกันพลาสติกไม่ให้โค้งงอ ปลายเท้า ทำจากไม้แกะสลัก และมือทำจากลวด

Armature จากบริษัท Trik Film Effects ของเขา ซึ่งได้พัฒนาโครงสร้างขึ้นจากเหล็ก การกลึง และการเจาะ ส่วนต่างๆของข้อต่อ มีเหล็กหัวบอล เป็นตัวยึดและหมุน

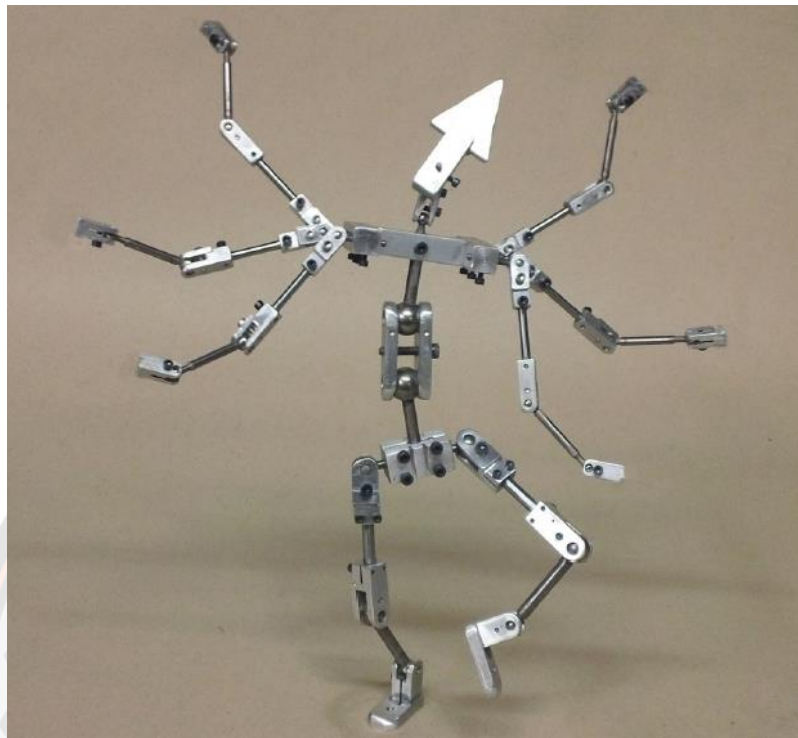
สัดส่วนของ Armature ทำด้วยเหล็กและทองเหลือง เป็นงานที่ปราณีตในทุกสัดส่วนของโครงสร้าง เขาจะทำตามแบบที่ผู้สร้างภาพยนตร์กำหนด ซึ่งการทำด้วยเหล็กสามารถผลิตชิ้นส่วนได้เป็นจำนวนมาก



ภาพ 82 แสดงผลงานของบริษัท Trik Film Effects

ที่มา: Ted Sidor, <http://trikfx.com/armatures>, 1991

2.4.3 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tom Brierton



ภาพ 83 แสดงหุ่นโครงสร้างโดย Tom Brierton

ที่มา: Tom Brierton, Stop motion magazine, หน้า 13

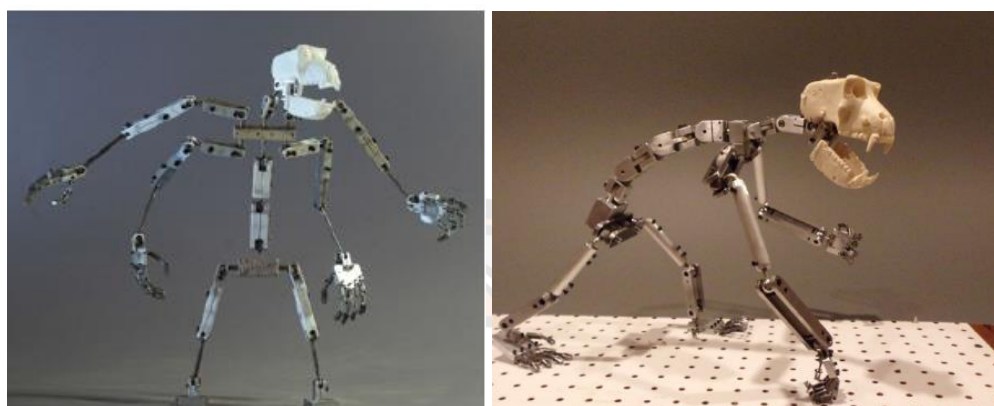
ข้อมูลเบื้องต้น

Tom Brierton เป็นหนึ่งในนักออกแบบ Armature ที่มีชื่อเสียงมากที่สุดในวงการ แอนิเมชันสตอปโมชัน ซึ่งเขาได้เขียนหนังสือเกี่ยวกับสตอปโมชันหลายเล่ม 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) ทั้งหมดล้วนเป็นแนวทางที่สำคัญสำหรับเทคนิคและการปฏิบัติในการสร้างแอนิเมชันสตอปโมชัน (Tom, 1957)

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ลักษณะและพื้นผิว การออกแบบที่เป็นเอกลักษณ์ของเขา คือการใช้โลหะหลายชนิด เช่น อลูมิเนียม, เหล็ก และวัสดุที่ใช้สร้างยานอวกาศ มาผลิต Armature ซึ่งวัสดุชนิดนี้มีน้ำหนักเบา และมีความทนทานยืดหยุ่นสูง ซึ่งสอดคล้องกับบทสัมภาษณ์ อีลอน มัสก์ ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานอวกาศ และเรือดำน้ำจิวเพื่อช่วยเหลือเด็กติดถ้ำทั้ง 13 คน ในจังหวัดเชียงราย ปี พ.ศ. 2561 กล่าวว่า วัสดุที่ใช้สร้าง

ยานอวกาศ มีความยืดหยุ่นมาก และมีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กกล้า มีความเบามากกว่าอลูมิเนียมราว 50% โดยมากผลิตมาจากการถักทอคาร์บอนไฟเบอร์เป็นส่วนประกอบสำคัญ (Tomorn Sookprecha, Jul 12, 2018)



ภาพ 84 แสดงหุ่นโครงสร้าง

ที่มา: Tom Brierton, Stop motion magazine, หน้า 11-12

ส่วนหัว ตกแต่งโครงกระดูกตามรูปแบบลักษณะที่กำหนดไว้ โดยส่วนมากจากอีพ็อกซี่ และเรซิน สามารถถอดเปลี่ยนได้

ส่วนลำตัว วัสดุที่นำมาสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ทำจากวัสดุยานอวกาศ ข้อต่อส่วนต่างๆเชื่อมต่อกันด้วยน็อตและสกรูขนาดเล็ก ส่วนลูกอลูมิเนียมชิ้นค่อนข้างนิ่มสำหรับการทำบอลและช็อกเก็ตหรือเบ้า จึงใช้ลูกเหล็ก เบ้าเหล็กหรืออลูมิเนียมแทน เพื่อความแข็งแรงทนทาน

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

Anodizing คือกระบวนการการใช้ไฟฟ้าในการเพิ่มความหนาของตัว Oxide ซึ่งจะเคลือบที่ผิวอลูมิเนียม ที่เรียกกันว่า Anodizing ซึ่งจะเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนและช่วยเพิ่มค่าความยืดติดของสีและกาวได้ดีกว่าอลูมิเนียมทั่วไป (AICS Corporation, 2015)

อโนไดซ์ มีหลายสี ได้แก่ สีน้ำเงิน, แดง, เหลือง, เขียว, ดำ อโนไดซ์ armatures จะมีสวยงามโดยเฉพาะเมื่อเทียบกับ armature ที่ทำจากอลูมิเนียมขัดเงาและทองเหลืองขัดเงา แต่อย่างไรก็ตาม

ความงามนั้นก็ถูกแทนที่ด้วยซิลิโคนหรือโฟม ซึ่งเป็นอาชญากรรมอย่างร้ายกาจ (Tom Brierton, 2018)

2.4.4 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tetsu Kawamura



ภาพ 85 แสดง StopMate series SM-004D รุ่นล่าสุด

ที่มา: Tetsu Kawamura, <http://www.modelanimation.com>, 2018

ข้อมูลเบื้องต้น Tetsu Kawamura นักสร้าง Armature เพื่องานสตอปโมชัน ชาวญี่ปุ่น เขาหลงใหลในการออกแบบโครงสร้างและค้นหาวัดุใหม่ๆมาใช้ในการผลิตโครง 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 เหว ข้อเท้า

แบบที่ 2: หัวบอลเป็นสแตนเลส ซ็อกเก็ตเป็นทองเหลือง ใช้กับส่วนขาและ เข่า

แบบที่ 3: หัวบอลและซ็อกเก็ตเป็นทองเหลือง

ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนั้น ทั้งมีน้ำหนักมาก และเคลื่อนที่ไม่สะดวกนัก เขาจึงได้วิเคราะห์ต้นแบบอีกครั้ง และพบว่า ตัวเข้าหรือซ็อกเก็ทนั้นทำจากแผ่นบรอนซ์ฟอสเฟอร์ซูบสี (phosphor bronze plate) ลูกบอลไม่ใช่ลูกบอลสแตนเลส แต่เป็นลูกเหล็กธรรมดาชนิดกันสนิม นั่นเอง

2.4.5 หุ่นโครงสร้าง Armature ในระบบอุตสาหกรรมของ Animation Toolkit



ภาพ 86 แสดง Animation Toolkits

ที่มา: Animation Toolkit : motion magazine, หน้า 50

ข้อมูลเบื้องต้น Animation Toolkit ก่อตั้งขึ้นในปี 2549 เป็นบริษัทที่มีความเชี่ยวชาญในการจัดหาชิ้นส่วนแอนิเมชัน Stop Motion ชุดอุปกรณ์และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องแก่มืออาชีพ ผู้ที่ชื่นชอบ นักเรียนและผู้ผลิตภาพยนตร์ทั่วโลก ได้นำไปสร้างสรรค์ผลงานอย่างอิสระ

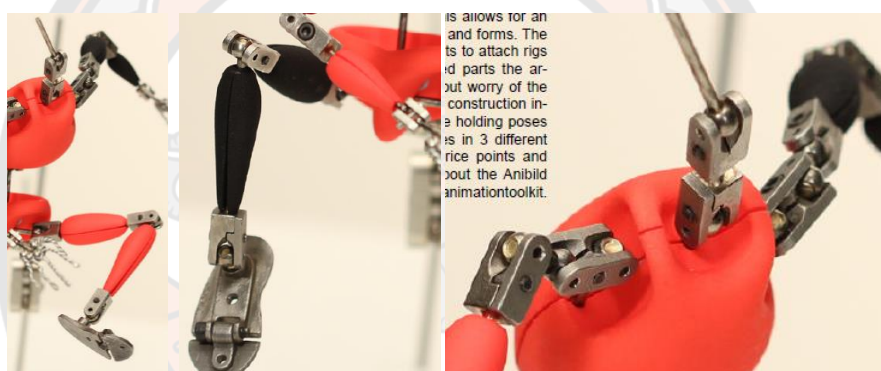
พวกเขามีประสบการณ์ที่หลากหลายในอุตสาหกรรมแอนิเมชัน กรรมการผู้จัดการ Westley Wood เริ่มก่อตั้งบริษัทร่วมกับ Mackinnon และ Saunders ซึ่งมีประสบการณ์ 5 ปีในแผนกหุ่นกระบอก ของบริษัท Cosgrove Hall Films ซึ่งเป็นสตูดิโอแอนิเมชันของอังกฤษ

Westley และทีมงาน ได้ผลิตสินค้าของเขาตั้งแต่การประดิษฐ์หุ่น การทำแม่พิมพ์ และการอบโฟม ไปจนถึงหลักการขั้นสูงและ การใช้ซิลิโคน ผลงานของบริษัทได้รับคำยกย่องจาก Ray Harryhausen: ในปี 2012 Animation Toolkit ร่วมมือกับเทคนิคพิเศษ Titan, โดย Ray

Harryhausen ได้นำชุด armacreature armature ของพวกเขาไปใช้ในการผลิตภาพยนตร์ โดยให้ความเห็นว่า “ถ้าเขาได้ Animate ชุด Armature นี้เขาจะใช้มันอย่างมีความสุข”

ปัจจุบัน Animation Toolkit ช่วยสร้างภาพยนตร์แอนิเมชันสตอปโมชัน มากกว่า 20,000 เรื่อง (นับตามยอดขาย) ลูกค้านี้มีตั้งแต่นักเรียนจนถึงระดับมืออาชีพ ตั้งแต่เอเจนซีสร้างสรรค์ จนถึงสตูดิโอแอนิเมชันมากมาย อาทิ Aardman, Disney, Dreamworks, Factory Transmedia, ITV, Second Home, Tippett, LAIKA, Animmortal. ซึ่งทำให้บริษัทประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก

ชุด Armature Anibild ออกแบบโดย Westley มีทั้งหมด 3 ชุดด้วยกัน แต่ละชุดราคาจะแตกต่างกันไป มีโครงสร้างหลักทำมาจากสแตนเลส ซึ่งมีความแข็งแรงทนทานต่อการเคลื่อนไหวแบบ Stop motion มีการเสริมความแข็งแรงและช่วยเสริมรูปร่างของตัวละคร โดยการเพิ่มขึ้นส่วนที่พิมพ์ 3 มิติ ทดแทนส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อนั่นเอง



ภาพ 87 แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนของ Animation Toolkit

ที่มา: Animation Toolkit : motion magazine, หน้า 52

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ลักษณะและพื้นผิว Armature รุ่น: Generic มีความสูง 290 มม วัสดุที่ใช้ 90% คือ สแตนเลส ชัดเงา ต้องใช้ระยะเวลาถึง 5 วันจึงจะประกอบเสร็จ มีข้อต่อ 24 จุด, หลายจุดออกแบบตามหลักมานุษยวิทยา โครงสร้างกล้ามเนื้อพิมพ์ด้วยระบบ 3 มิติ มีความแข็งแรงและแม่นยำในการเคลื่อนไหว ช่วงข้อต่อประกอบด้วยหัวบอลและแผ่นเข้าซ็อกเกต ที่ชุบด้วยโครเมียมเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนจากน้ำและกรดเหมาะสำหรับการเสียดสีเมื่อเคลื่อนไหว สามารถป้องกันสนิม หัวบอลมีขนาด 9 มม. 6 มม. และ 3mm และยังมีจารบีเพื่อป้องกันการเกิดการเสียดสีในระยะยาวให้กับผู้ใช้งานอีกด้วย



ภาพ 88 แสดง Armature Anibild Chimera Animation Toolkit ราคา £279.99

ที่มา: Animation Toolkit : motion magazine, หน้า 52

ส่วนหัว มีก้านสแตนเลสสำหรับใช้เสียบศีรษะของตัวละคร ซึ่งผู้ใช้งานสามารถปรับได้ตามต้องการ อาจจะเป็นการปั้นดินน้ำมัน การหล่อเรซิน หรือการพิมพ์สามมิติ ซึ่งเพิ่มทางเลือกที่หลากหลายให้ผู้ใช้งาน แกนด้านล่างเชื่อมต่อกับหัวบอลสแตนเลสสามารถปรับทิศทางการเคลื่อนไหวได้

ส่วนลำตัว ช่วงลำตัวประกอบด้วยโครงสแตนเลสด้านใน ท่อนบนและอุ้งเชิงกราน ประกอบด้วยพลาสติกที่พิมพ์สามมิติ เพื่อการคงรูปทรงของหุ่น

ส่วนแขนและขา

ส่วนแขน สร้างจากแท่งสแตนเลส มีเหล็กสกรูยึดตามข้อต่อต่างๆ และกล้ามเนื้อสองชิ้น ใช้การพิมพ์สามมิติ นิ้วลวดที่ถอดเปลี่ยนได้ทำจากอะลูมิเนียม

ส่วนขา สร้างจากแท่งสแตนเลส และกล้ามเนื้อสองชิ้น ใช้การพิมพ์สามมิติ ปลายเท้ามีแม่เหล็กหลายจุด

ข้อต่อบานพับนิ้วเท้า



ภาพ 89 แสดง Male 1C Cinematic Armature Anibild Chimera Animation Toolkit รุ่น 2019

ที่มา: Animation Toolkit : motion magazine, หน้า 52

2.4.6 หุ่นโครงสร้าง Armatures Creature Kit ของ Aardman



ภาพ 90 แสดง aardman Armatures Creature Kit

ที่มา: <https://bit.ly/2MQVlzT>, 2020

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

การวิเคราะห์โครงสร้าง

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

ส่วนหัว มีก้านสแตนเลสสำหรับใช้เสียบศีรษะของตัวละคร ซึ่งผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการ อาจจะเป็นการปั้นดินน้ำมัน การหล่อเรซิน หรือการพิมพ์สามมิติ ซึ่งเพิ่มทางเลือกที่หลากหลายให้ผู้ใช้งาน แกนด้านล่างเชื่อมต่อกับหัวบอลสแตนเลส สามารถปรับทิศทางการเคลื่อนไหวได้

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

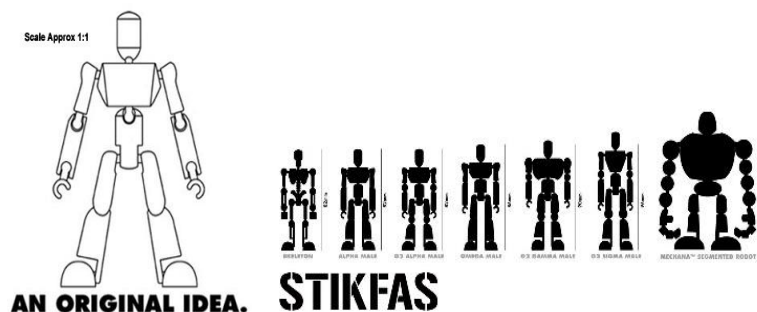
ส่วนแขนและขา

ส่วนแขน สร้างจากแท่งสแตนเลส มีหัวบอลเหล็กยึดตามข้อต่อต่างๆ

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

ส่วนขา สร้างจากแท่งสแตนเลส มีหัวบอลเหล็กยึดตามข้อต่อต่างๆ ปลายเท้ามีแม่เหล็กหลายจุดตามข้อต่อบานพับนิ้วเท้า

2.4.7 หุ่นโครงสร้าง Stikfas



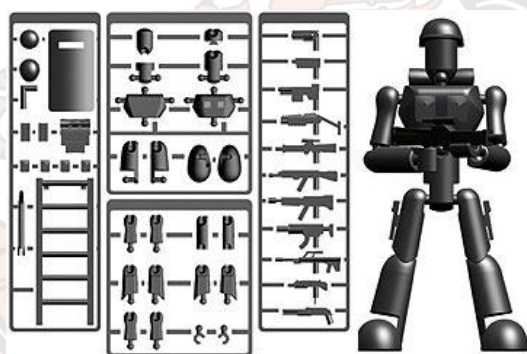
ภาพ 91 แสดงหุ่นโครงสร้าง Stikfas

ที่มา: <http://stikshop.alt-world.com/stikfas.htm>, ม.ป.ป.

ข้อมูลเบื้องต้น

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

ในปี 2002 บริษัท Hasbro ซึ่งเป็นผู้ผลิตของเล่นรายใหญ่ได้รับ Licence ในการผลิตหุ่นให้กับ Stikfas โดยมีรายการขายเป็น "ชุด" ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์เสริมคือสติเกอร์และตัวหุ่นสำรองที่มีรูสึ่เหลี่ยม สำหรับสวมใส่อุปกรณ์เสริมที่สามารถซื้อแยกได้ และมีการออกแบบโครงใหม่ๆเพิ่มเติมคือรุ่นมังกร, สุนัข, แมว, จักรยาน, ม้า, ไดโนเสาร์ เพื่อใช้ร่วมกับหุ่นแต่ละชุด เมื่อประกอบเสร็จแล้วพวกเขาสามารถปรับแต่งด้วยสติเกอร์ และชิ้นส่วนอื่น ๆ ราคาเริ่มต้นที่ 8\$ ถึง 34\$



ภาพ 92 แสดงภาพถ่ายของของเล่น Stikfas Pirate

ที่มา: <http://stikshop.alt-world.com/stikfas.htm>, ม.ป.ป.



ภาพ 93 แสดงภาพถ่ายหุ่น Armature Stikfas

ที่มา; นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ลักษณะและพื้นผิว สร้างจากพลาสติกชนิดแข็ง ที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมของ Hasbro มีพลาเสฟพลาสติกที่แกะออกได้ง่าย STIKFAS มีข้อต่อทั้งหมดเป็นบอล และซ็อกเก็ต สามารถถอดเปลี่ยนได้ การขยับท่าทางทำได้ไม่ตึง เนื่องจากซ็อกเก็ตรองรับการงอได้ด้านเดียว ดังนั้นจึงใช้การหมุนไปมาเพื่อนเปลี่ยนท่าทาง ไม่เหมาะกับการนำดินน้ำมันมาเสริมทั้งตัวเนื่องจากต้องบิดข้อต่อไปมา

ส่วนหัว เป็นทรงกระบอก และมีซ็อกเก็ตเพื่อต่อกับลำตัว ด้านบนโค้งมนเพื่อรองรับอุปกรณ์เสริม เช่น หมวก

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

ส่วนแขนและขา ส่วนแขน มี 3 ส่วน ได้แก่ แขนท่อนบน ซ้ายและขวาอย่างละ 2 อัน โดยอีกอันมีรูสี่เหลี่ยมสำหรับใช้ใส่อุปกรณ์เสริม แขนท่อนล่างมี 2 อัน ซ้ายและขวา มีสัญลักษณ์ R และ L กำกับชัดเจน มีรูปตัว U โดยใส่แขนได้ทั้งสองด้าน เหมาะสำหรับการถอดเปลี่ยนอาวุธหรือหยิบจับอุปกรณ์เสริมได้

ส่วนขา มี 3 ส่วน ขาท่อนบน ซ้ายและขวาอย่างละ 2 อัน โดยอีกอันมีรูสี่เหลี่ยมสำหรับใช้ใส่อุปกรณ์เสริม มีเบ้าซ็อกเก็ต สำหรับติดกับก้านบอลของอุ้งเชิงกราน และอีกด้านเป็นก้านบอล ที่ใช้ยึดกับขาท่อนล่าง ซึ่งท่อนล่างมี 2 อัน ซ้ายและขวา มีสัญลักษณ์ R และ L กำกับชัดเจน ปลายขาท่อนล่าง มีการบั่นเป็นร่องสี่เหลี่ยมและมีก้านบอลยื่นออกมาเพื่อรองรับส่วนเท้า ซึ่งสามารถปรับขึ้นลงได้ แต่หากจะหมุนเท้าไปทางซ้ายหรือขวา จะต้องหมุนทั้งขาท่อนล่างไปด้วย ส่วนเท้า หากซื้อชุดธรรมดา จะไม่มีแม่เหล็กที่เท้า แต่จะมีรูสี่เหลี่ยมให้ใส่เพิ่มได้ ซึ่งถ้าซื้อชุดใหญ่จะมีครบทั้งหมด รวมถึงอุปกรณ์เสริม เช่น อาวุธ ต่างๆ

2.4.8 หุ่นโครงสร้าง modibot



ภาพ 94 แสดงภาพถ่ายหุ่น Armature ModiBot Mo

ทีมา; นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

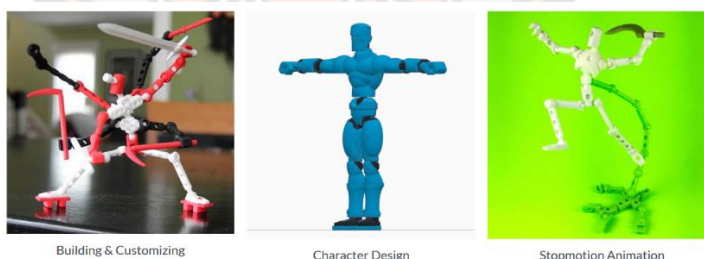
ข้อมูลเบื้องต้น

ModiBot Mo คือ Armature พลาสติก สักชาติอเมริกัน ที่สร้างจากการพิมพ์ สามมิติ ทั้งชุด หัวใจสำคัญของพวกเขาคือการผลิตโครงและอุปกรณ์ประกอบ ให้ลูกค้าสามารถนำไปสร้างเรื่องราวได้ด้วยตัวเอง ModiBot Mo เป็นเหมือนโครงกระดูกที่กำลังเคลื่อนที่ซึ่งสามารถครอบคลุมการออกแบบของผู้ใช้งานเองหรือปรับแต่งด้วยอุปกรณ์เสริมที่พวกเขาออกแบบและทำไว้ล่วงหน้า ซึ่งสามารถสั่งได้ตามต้องการ โดยทีมสร้าง Modibot ได้กล่าวไว้ในทวิตเตอร์ว่า พวกเขาคือเครื่องพิมพ์สามมิติ ภารกิจคือสร้างแรงบันดาลใจให้มนุษยชาติในรูปแบบใหม่ ซึ่งเต็มไปด้วยความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการ (Modibot Mo, 2012)

Modibot Mo มีชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกัน 19 ชิ้น ที่ยังไม่ได้ประกอบ หนึ่งชิ้นมีจุดเชื่อมต่อหัวบอลและซี่งกเกิดที่มีความยืดหยุ่น 14 จุด สามารถให้ลูกค้าออกแบบและค้นหาชิ้นส่วนพร้อมกับสิ่งพิมพ์ 3 มิติ ได้จากเว็บ Shapeways BotShop มีหลายสีให้เลือกเช่น สีส้ม, ดำ, ขาว, ส้ม, เขียว ทหาร, 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 และทำการสั่งพิมพ์เพื่อขายให้ลูกค้าที่สนใจ การออกแบบ 3 มิติ เป็นตัวเลือกที่อิสระมากขึ้น เพราะสามารถออกแบบได้ไม่รู้จัก สามารถสร้างอุปกรณ์เสริมที่กำหนดเองได้ ใช้เส้นพลาสติกที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดสำหรับภาพเคลื่อนไหวสตอปโมชันและโครงการสร้างสรรค์ต่างๆ



ภาพ 95 แสดงหุ่นโครงสร้าง

ที่มา: <https://modibot.com/pages/3d-design-printing>, ม.ป.ป.

ส่วนหัว เป็นทรงกระบอก และมีซี่งกเกิดเพื่อต่อกับคอที่ติดลำตัว ด้านบนโค้งมนเพื่อรองรับอุปกรณ์เสริม เช่น หมวก มีรูปทรงกลางเป็นรูป 6 เหลี่ยม สำหรับเปลี่ยนใบหน้า หรือหน้ากาก



ภาพ 96 แสดง ModiBot Stopmotion Starter Set และ Black Exo-Skin figure frame

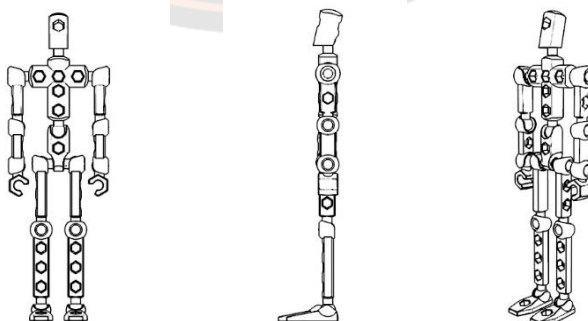
ที่มา: <https://modibot.com>, ม.ป.ป.

ส่วนลำตัว ช่วงลำตัวมี 3 ส่วน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและการสั่งซื้อ ส่วนลำตัวท่อนบน คล้ายกากบาท คอและหัวไหล่ติดกับลำตัวไม่สามารถขยับได้ มีแกนและหัวบอลต่อกับแขนท่อนบน มีรูเป็นรูป 6 เหลี่ยม 5 จุด สำหรับติดอุปกรณ์เสริม ลำตัวท่อนกลาง ถูกผลิตมาเพื่อเป็นอุปกรณ์เสริม มีรูตรงกลางเพื่อเชื่อมต่อกับก้านค้ำยัน สำหรับทำสต๊อปโมชัน เพื่อให้โครง Armature มีการทรงตัวได้ง่ายขึ้น ลำตัวท่อนล่างเป็นส่วนของเอวและเชิงกราน มีแกนต่อกับขาทั้งสองข้างเช่นกัน มีรู 6 เหลี่ยมไว้ติดอุปกรณ์เสริม เช่น ชุดเกราะ

ส่วนแขนและขา

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

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



ภาพ 97 แสดงภาพโครงร่าง modibot

ที่มา: <https://modibot.com>, ม.ป.ป.

2.4.9 หุ่นโครงสร้าง Stickybones



ภาพ 98 แสดงภาพจากวิดีโอหุ่นโครงสร้าง stickybones

ที่มา: <https://www.stickybones.com>, 2019

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

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

เขากระตือรือร้นที่จะถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับแอนิเมชันสตอปโมชันที่เขาสะสมไว้ จากการสร้างภาพยนตร์ โดยกล่าวว่า เขาต้องการช่วยให้ผู้คนเข้าถึงศักยภาพสูงสุดด้วยอนิเมชันสตอปโมชันและมอบทักษะที่จำเป็นในการประกอบอาชีพหากทุกคนสนใจ เขาเชื่อว่าผลิตภัณฑ์ Stickybones นั้นยอดเยี่ยมและมีศักยภาพที่ไม่เหมือนใคร สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างสื่อการสอนที่เข้าถึงได้จากเกือบทุกที่ในโลก ตั้งแต่เริ่มต้นอาชีพของเขา เขารู้ว่าการเรียนการสอน สตอปโมชันที่ดีและเป็นประโยชน์นั้นหายาก บางประเทศมีการสอนที่ดีมาก เช่น อังกฤษ แต่ประเทศอื่น ๆ อาจไม่มีอะไรเลย เขาโชคดีที่ได้อยู่ในสถานที่ที่ถูกต้องในเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ แต่เขาได้พบกับผู้คนมากมายที่ปรารถนาโอกาสที่จะเรียนรู้ทักษะที่จำเป็นเกี่ยวกับ สตอปโมชันให้เป็นมืออาชีพและไม่สามารถเข้าถึงโปรแกรมที่ใช้สร้างสรรค์ผลงานได้ ความฝันของเขาคือการให้เครื่องมือและทักษะแก่พวกเขา และ Stickybones คือสิ่งที่จะมาเสริมสร้างความรู้นี้ (Florian Perinelle, 2018)

Stickybones มีระบบข้อต่อที่ปลดล็อกความเป็นไปได้ที่ไม่มีที่สิ้นสุดสำหรับการวางตัว พวกเขาให้คำนิยามว่า Stickybones สร้าง "Infinite Pose-Abilities"

การวิเคราะห์โครงสร้าง



ภาพ 99 แสดงลักษณะและพื้นผิว สร้างจากโปรแกรม 3 มิติ

ที่มา: <https://www.stickybones.com>, 2019

ลักษณะและพื้นผิว สร้างจากโปรแกรม 3 มิติ และสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เรซิน จากนั้นนำมาเจียรให้ผิวเรียบ ทาสีและเลเซอร์ให้สีติดแน่นและทนทานขึ้น บางส่วนที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ใช้แทนแม่พิมพ์โมลด์ สร้างขึ้นจากการบีบอัดให้เป็นชิ้นส่วนตามแม่พิมพ์เหล็กที่ทำขึ้นมา



ภาพ 100 แสดงการทำพื้นผิว

ที่มา: <https://www.stickybones.com>, 2019

ส่วนหัว มีใบหน้าคล้ายโครงสร้างมนุษย์ และมีซ็อกเก็ตเพื่อต่อกับคอ ส่วนคอมมีก้านหัวบอลทั้งสองด้าน เพื่อต่อกับหัวและลำตัว

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



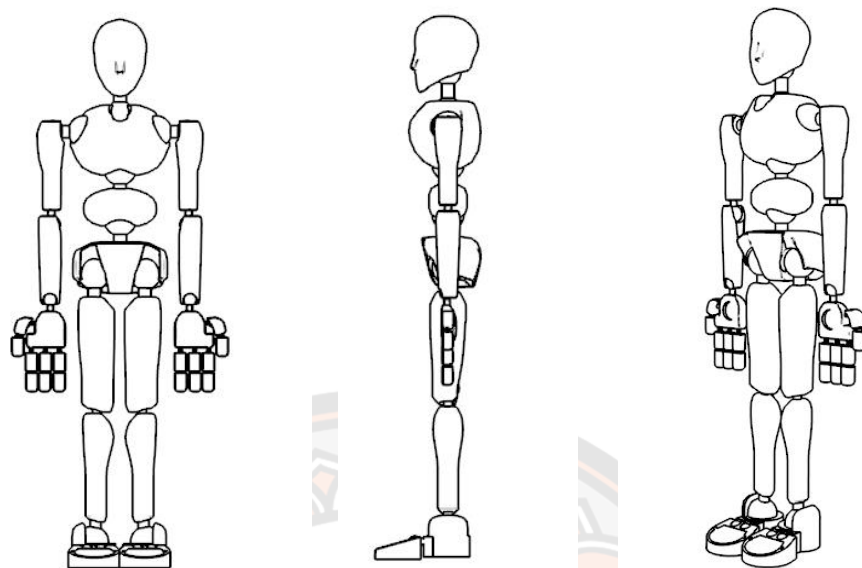
ภาพ 101 แสดงภาพจากวิดีโอ

ที่มา: <https://vimeo.com/152141643> และ <https://youtu.be/d0rfwmb5Vjs>, ม.ป.ป.

ส่วนแขนและขา

ส่วนแขน มี 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวไหล่ เป็นแกนหัวบอล ด้านติดกับลำตัวจะใหญ่กว่าด้านที่ติดแขน ส่วนแขนท่อนบนและแขนท่อนล่าง เป็นทรงกระบอกมีเส้นโค้งตามแบบฟิสิกเกอร์มนุษย์ ส่วนสุดท้ายคือฝ่ามือและนิ้วมือ บริเวณฝ่ามือจะมีแม่เหล็กฝังอยู่ และมีแกนหัวบอลยื่นออกมา 4 นิ้ว ตามแบบฉบับของแอนิเมชัน คือมีนิ้วหัวแม่มือ 1 นิ้ว และนิ้วอื่นๆเว้นนิ้วกลาง 3 นิ้ว แต่ละนิ้วมีอย่างละ 2 ข้อ ซึ่งประกอบด้วยข้อกระดูกและหัวบอลขนาดเล็กอย่างละด้าน

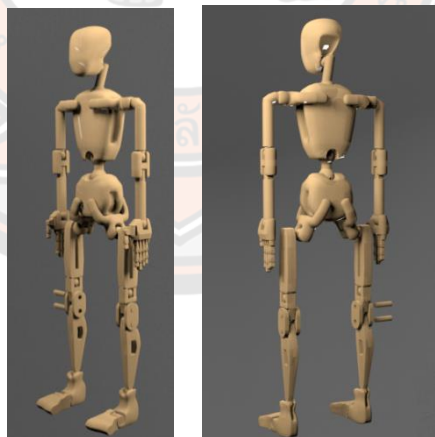
ส่วนขา มี 4 ส่วน ขาท่อนบนมีหัวบอลเชื่อมต่อกับเชิงกราน และข้อกระดูก เชื่อมต่อกับหัวเข่า ด้านหลังมีลักษณะเว้าเข้า เพื่อรองรับการพับขาหรือนั่งกอดขาได้อย่างแนบเนียน ขาท่อนมีหัวบอล 2 ด้านด้านบนแทนหัวเข่า และด้านล่างมีขนาดบอลที่ใหญ่กว่าเพื่อสวมเข้ากับเท้า ส่วนเท้ามี 2 ส่วน คือ ส้นเท้าเป็นข้อกระดูกแทนตาตุ่ม และอีกด้านเป็นแกนหัวบอล 2 แกน เพื่อต่อกับปลายเท้าและล็อกให้บิดได้ขึ้น ลง เท่านั้น ส่วนปลายเท้ามีแม่เหล็กฝังอยู่ด้านล่างสามารถถอดเปลี่ยนได้



ภาพ 102 แสดงภาพโครงร่าง stickybones

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

2.4.10 หุ่นโครงสร้าง Armature Nine (A9-RIG)



ภาพ 103 แสดงภาพ 3 มิติ Armature Nine (A9)

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

ข้อมูลเบื้องต้น

Armature Nine (หรือ A9-RIG) เปิดตัวครั้งแรกในปี พ.ศ. 2555 และได้รับสิทธิบัตรหลายฉบับ ในปีเดียวกัน Armature Nine สร้างประวัติศาสตร์ด้วยการเป็นผู้ผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งพิมพ์ 3 มิติครั้งแรกในโลก สามารถจำหน่ายได้มากกว่า 60 ประเทศทั่วโลก) เป็นหุ่นโครงสร้างที่ออกแบบมาเพื่อ

ใช้เป็นแบบในการสร้างสรรค์งานศิลปะ โดยจิตรกรใช้อ้างอิงสัดส่วนของมนุษย์ แอนิเมเตอร์ใช้โครงนี้
สร้างสรรค์งานสตอปโมชัน ผู้ผลิตได้พัฒนาหุ่นโครงสร้างให้มีหลากหลายสัดส่วน ทั้งคน สัตว์ และ
สัตว์ประหลาด ซึ่งลูกค้าจากทั่วโลกสามารถหาซื้อได้จากผู้ผลิตโดยตรงทางเว็บไซต์
armaturenine.com



ภาพ 104 แสดง Armature Nine (A9)

ที่มา: <https://armaturenine.com>, 2019



ภาพ 105 แสดงภาพถ่ายหุ่น Armature Nine (A9)

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างหุ่นโครงสร้างรุ่น A9-RIGS สัดส่วน 12 นิ้ว และ 6 นิ้ว ซึ่งเป็นขนาด
มาตรฐาน และเป็นที่ยอมรับในกลุ่มลูกค้า สามารถจำแนกลักษณะดังนี้

ลักษณะและพื้นผิว

A9-RIGS สูงประมาณ 12 นิ้ว (มาตราส่วน 1/6) และอีก 6 นิ้ว (มาตราส่วน 1/12) ลักษณะเป็นโครงสร้างคล้ายกระดูกมนุษย์ มีสัดส่วนข้อต่อส่วนใหญ่เป็น boll joint และ Socket ยกเว้นส่วนหัวเข่า มีการใช้น้ำอัดเสริมความแข็งแรง พื้นผิว ได้ผสมผสานหลากหลายวัสดุ เช่น ไม้สังเคราะห์ (Wood composite) และผลิตจากการพิมพ์สามมิติ พลาสติก ABS และจุดข้อต่อส่วนต่างพิมพ์สามมิติแบบ เรซิน ทำสีกัลยเลียนแบบไม้ การพิมพ์สามมิติสามารถผลิตได้แม่นยำและเป็นจำนวนมาก มีแม่เหล็กติดอยู่ที่เท้า 6 อัน และมีมือ 2 อัน

ส่วนหัว คล้ายโครงสร้างกะโหลกมนุษย์ ด้านบนศีรษะตัดตรงสามารถตั้งวางกับพื้นได้ และมีซี่อกเกิดเพื่อต่อกับคอ ส่วนคอมีลักษณะเป็นตัว L กลับหัว มีก้านหัวบอลทั้งสองด้าน เพื่อต่อกับหัวและลำตัว

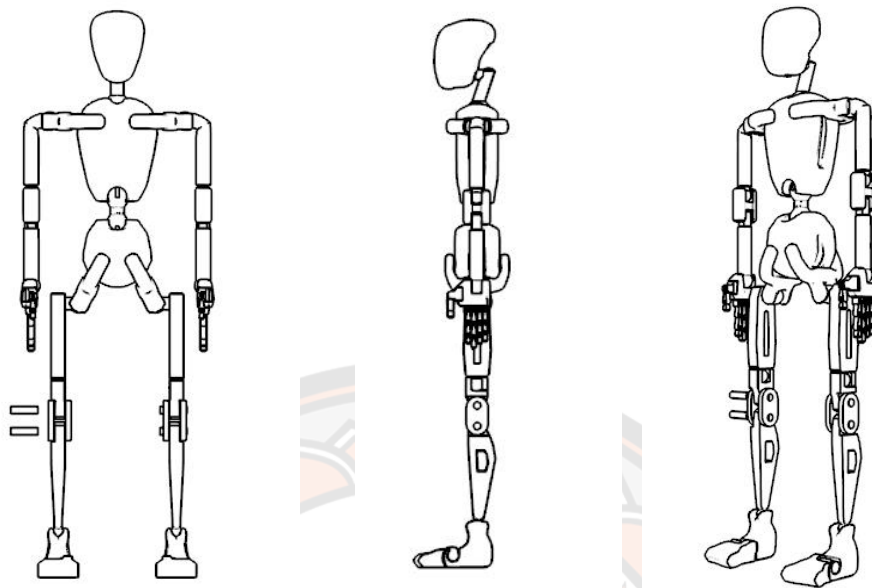
ส่วนลำตัว มี 3 ส่วน ท่อนบนเป็นส่วนนอก ด้านข้างถูกเจาะเป็นช่องเพื่อลดมวลของน้ำหนัก ตรงออกทั้งสองข้างถูกเจาะให้เป็นทรงกระบอกมีลักษณะเป็นฟันปลา 4 จุด ใช้รองรับข้อต่อรูปตัวยู ซึ่งแทนไหล่ปลาร้าของมนุษย์ ท่อนกลางเป็นหัวบอลสองฝั่ง ถูกผ่ากลางเล็กน้อย เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการสวมใส่กับลำตัว และท่อนสุดท้าย เชิงกราน ถูกเจาะช่องด้านข้าง และเจาะรู 4 รูเพื่อต่อกับกระดูกขา เช่นเดียวกับส่วนนอก

ส่วนแขนและขา

ส่วนแขน มี 3 ท่อน ได้แก่ แขนท่อนบนสร้างให้มีหัวไหล่ คอก และแขนท่อนล่าง ซึ่งท่อนที่เป็นคอก ถูกทำให้เป็น Socket สองด้าน

มือ จุดเด่นของ Armature 9 อยู่ที่มือ และนิ้วมือ ซึ่งมีข้อต่อที่เล็กมากและสามารถหมุนได้ทุกจุด มีความสวยงามและละเอียดอ่อน อังมือมีแม่เหล็กนีโอไดเมียม ใช้ยึดเกาะกับฐานเหล็ก

ส่วนขา ออกแบบให้มีการเจาะเป็นช่อง ระวังขาทั้งสองท่อน หัวเข่าเป็นแผ่นพลาสติกที่ยึดเกาะด้วยน้ำอัด เพิ่มความแข็งแรง ข้อเท้าเป็น ball กับ socket และปลายเท้าเป็นข้อต่อแบบบานพับ หมุนขึ้นลงได้ 2 ด้าน เท้ามีแม่เหล็กนีโอไดเมียม ข้างละ 3 จุด เพื่อการยึดเกาะกับฐานเหล็กอย่างมั่นคง



ภาพ 106 แสดงภาพโครงร่าง Armature Nine (A9)

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

2.4.11 หุ่นโครงสร้าง Gemobot



ภาพ 107 แสดงหุ่นโครงสร้าง Gemobot

ที่มา: <http://www.nattotoys.com>, 2017

ข้อมูลเบื้องต้น

หุ่นโครงสร้าง Gemobot ถูกผลิตขึ้นในช่วงปี 2015-2017 อยู่ในกลุ่มผู้ที่ชื่นชอบของเล่น (Art Toy Thailand) และผลิตขึ้นเพื่อประกอบฉากถ่ายภาพ จากนั้นได้มีการผลิตเพื่อขาย ในช่วงปี 2017 และหลังจากนั้นไม่มีการเคลื่อนไหวทางสื่อออนไลน์อีกเลย ผู้ออกแบบชื่อ คุณ Natthaphong Srisuphan เจ้าของ facebook Fanpage ชื่อ nattoys เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายผ่านทาง เว็บไซต์ www.nattoys.com ผลิตภัณฑ์และเว็บไซต์ดังกล่าวได้ถูกปิดไปแล้วไม่สามารถเข้าถึงได้ในปัจจุบัน (2019)



ภาพ 108 แสดงภาพ 3 มิติ หุ่นโครงสร้าง Gemobot

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ลักษณะและพื้นผิว หุ่นทุกตัวถูกผลิตขึ้นด้วยมือ (handmade) และผสมผสาน การพิมพ์สามมิติ (3D Printing) และบรรจุในกล่องไม้ที่สวยงาม ออกแบบให้มีลักษณะ minimal เน้นรูปทรงเหลี่ยม พื้นผิวพิมพ์ด้วยพลาสติก ABS ข้อต่อส่วนต่างๆ เป็น หัวบอล ทำด้วยเหล็ก และมีมือ มีความยืดหยุ่น ผลิตจาก Flexible Plastic ซึ่งเป็นวัสดุหนึ่งของการพิมพ์สามมิตินั้นเอง

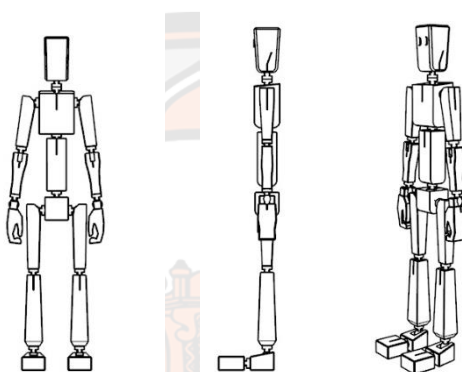
ส่วนหัว มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม ด้านล่างเจาะเป็น Socket สำหรับสวมใส่หัวบอลเหล็ก ที่ใช้แทนส่วนคอ ดวงตาพิมพ์สามมิติและติดแยก

ส่วนลำตัว มี 3 ท่อน ลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม และผ่าช่องว่างตรงกลาง เพื่อความยืดหยุ่น ไม่มีส่วนไหนปลาร้า และไม่สามารถก้มตัวได้ เนื่องจากการออกแบบเป็นเหลี่ยมของลำตัว

ส่วนแขนและขา

ส่วนแขน ประกอบด้วย 3 ส่วน แขนท่อนบนและแขนท่อนล่าง ด้านหนึ่งติดกับหัวบอล และอีกด้านทำหน้าที่เป็น Socket ส่วนมือมีความยืดหยุ่น ออกแบบให้นิ้วหัวแม่มือแยกออกมา และนิ้วอื่นๆ ติดกันในลักษณะงอ เพื่อจับสิ่งของ สามารถยืดหยุ่นได้ เนื่องจากพิมพ์ด้วยเส้นพลาสติก ที่มีความยืดหยุ่นสูง

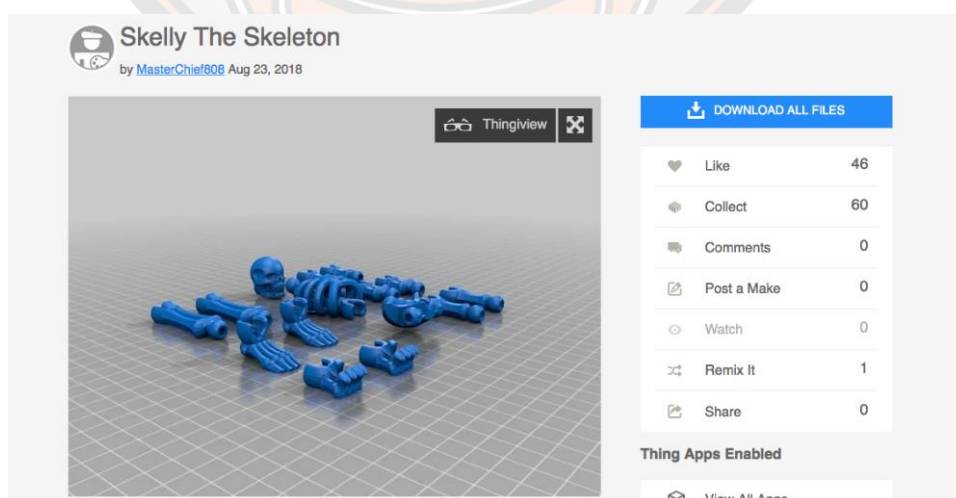
ส่วนขา ประกอบด้วย 4 ส่วน ทุกส่วนทำหน้าที่เป็น ball joint และ อีกฝั่งเป็น Socket มีองศาที่จำกัดในการงอขา ไม่สามารถงอขาได้น้อยกว่า 90 องศาได้ ปลายเท้ามีลักษณะเป็น Socket หมุนได้ 360 องศา และมีแม่เหล็กฝังอยู่ใต้ฝ่าเท้า



ภาพ 109 แสดงภาพโครงสร้าง Gemobot

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

2.4.12 รุ่นโครงสร้าง Skelly The Skeleton



ภาพ 110 แสดงภาพชิ้นส่วนรุ่นโครงสร้าง Skelly The Skeleton

ที่มา: www.thingiverse.com/thing:3064150, 2019

ข้อมูลเบื้องต้น

หุ่นโครงสร้าง Skelly Skeleton เป็นโมเดลโครงกระดูก ที่ถูกสร้างขึ้นโดยนักสร้างโมเดลที่ใช้ชื่อ MasterChief 808 เผยแพร่เมื่อวันที่ 23 สิงหาคม พ.ศ.2561 ทางเว็บไซต์ [www.thingiverse.com/thing : 3064150](http://www.thingiverse.com/thing:3064150) ซึ่งให้ผู้คนทั่วไปสามารถโหลดไฟล์ 3 มิติ ไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ แต่ไม่อนุญาตให้ใช้เพื่อการพาณิชย์ เราสามารถดาวน์โหลดไฟล์นี้มาศึกษาและพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติได้



ภาพ 111 แสดงภาพถ่ายหุ่น Armature Skelly Skeleton

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

การวิเคราะห์โครงสร้าง

ลักษณะและพื้นผิว เนื่องจาก หุ่น Armature Skelly Skeleton เป็นไฟล์ 3 มิติ พื้นผิวจึงเป็นไปตามที่ผู้ใช้งานกำหนด สามารถสั่งพิมพ์สามมิติได้หลากหลายวัสดุ อาทิ พลาสติก PLA , ABS , และ Resin ข้อต่อทุกส่วนของร่างกายมีลักษณะเป็น ball และ Socket ทั้งหมด 14 จุดสามารถหมุนได้รอบทิศ และมีข้อจำกัดในการถอด หรือพับข้อต่อ

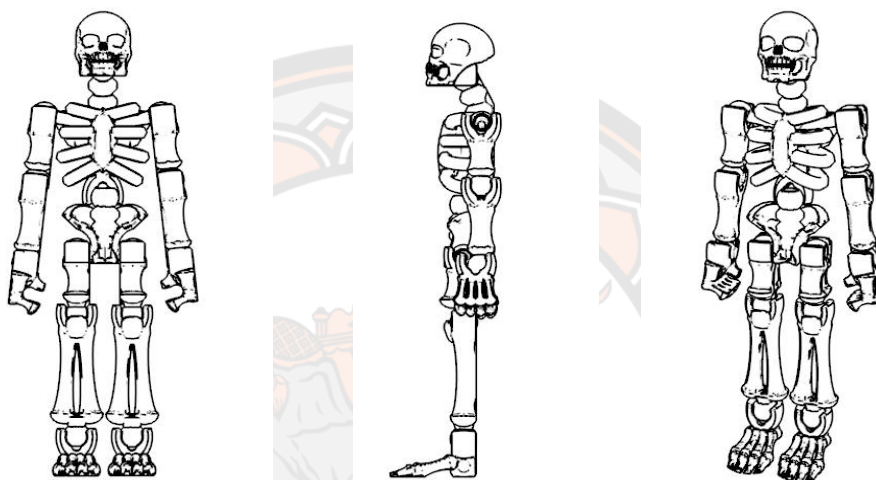
ส่วนหัว ออกแบบให้มีลักษณะของกระดูกศีรษะมนุษย์ ด้านล่างมี socket ที่ยื่นออกมารองรับ ball ของลำตัว ไม่มีส่วนคอ

ส่วนลำตัว ออกแบบให้มีลักษณะเป็นโครงกระดูกทรวงอกของมนุษย์ มีกระดูกคอกยื่นออกมาลงไปด้านหน้าเล็กน้อย ส่วนล่างเป็นอุ้งเชิงกราน ซึ่งติดกับกระดูกสันหลัง

ส่วนแขนและขา

ส่วนแขน มีทั้งหมด 3 ส่วน ด้านหนึ่งเป็น Socket และอีกด้านทำหน้าที่เป็นหัว ball ข้อมือ ออกแบบให้หัวแม่มือยื่นออกมา และนิ้วที่เหลืติดกันในลักษณะงอเป็นรูปตัวยู

ส่วนขา มีทั้งหมด 3 ส่วน ด้านหนึ่งเป็น Socket และอีกด้านทำหน้าที่เป็นหัวบอล ขาท่อนล่าง ใหญ่กว่าท่อนบน และมีช่องว่างตรงกลางเพื่อลดปริมาตรของการพิมพ์ 3 มิติ มีเท้าที่ใหญ่ เพื่อรองรับ น้ำหนัก ทั้งหมด ฝ่าเท้าและข้อเท้าเป็นชิ้นเดียวกัน ไม่สามารถงอหรือพับได้



ภาพ 112 แสดงภาพโครงสร้าง Gemobot

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

เมื่อทำการศึกษาแล้วพบว่า Atmature ที่ผลิตขายในท้องตลาด แบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ

กลุ่มที่ 1 ออกแบบโครงสร้างภายใน ต้องใช้กั้วสตุคหุ้มเท่านั้นจึงจะสามารถสร้างเป็นแอนิเมชัน สตอปโมชันได้

กลุ่มที่ 2 ออกแบบให้ใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้วัสดุหุ้มมาหุ้มโครงสร้าง แต่จะใช้วิธีต่อประกอบเข้ากับชุดอุปกรณ์เสริมแทน หรือผู้ซื้อไปใช้งานสามารถประยุกต์ใช้ได้เอง สามารถพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ได้ ซึ่งง่ายต่อการถอดและประกอบ

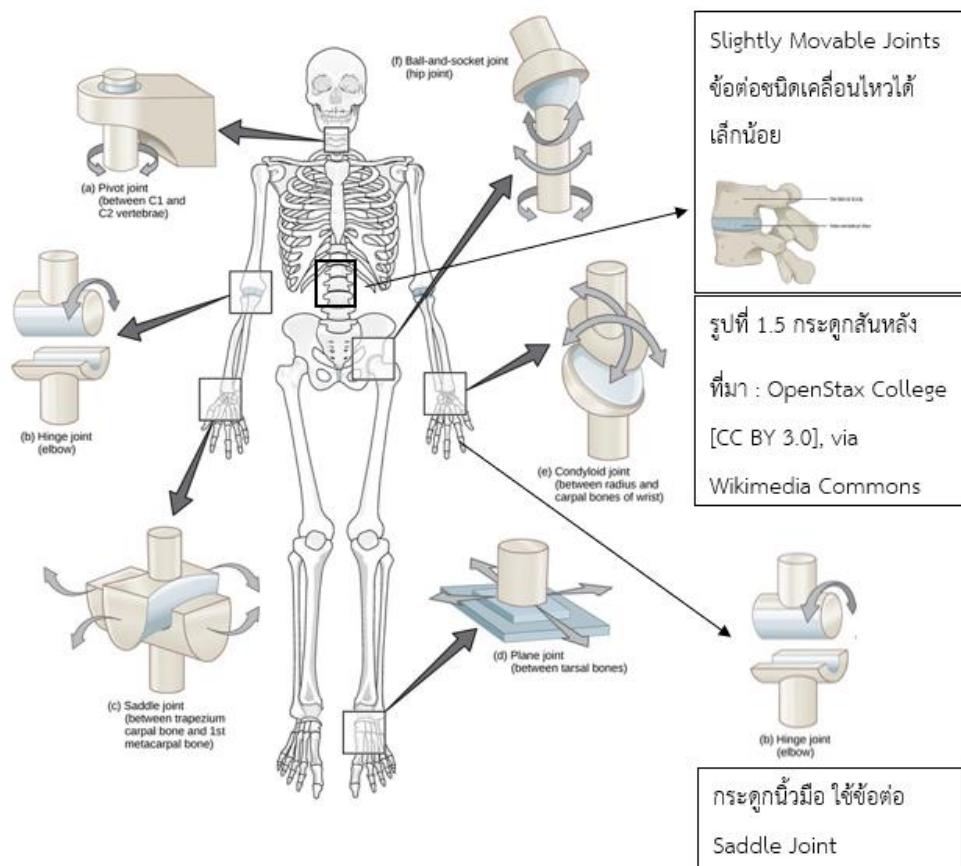
2.5. จลนศาสตร์ (Kinematic) และการเคลื่อนไหว (Motion)

พจนานุกรมราชบัณฑิตยสถาน ได้ให้ความหมาย จลนศาสตร์ หมายถึง [จะละนะ-, จนละนะ-] เป็นสาขาหนึ่งของพลศาสตร์ ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของเทหวัตถุที่เป็นของแข็ง โดยไม่คำนึงถึงแรงที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่นั้น

ไพรโรจน์ ตีรณธนากุล (2549) ได้กล่าวถึงในวิชากลศาสตร์ (Mechanics) ไว้ว่า การเคลื่อนที่ของวัตถุใด ๆ แต่เพียงอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึงสาเหตุของการทำให้เคลื่อนที่ด้วยนั้น เราเรียกว่า การศึกษาทาง จลนศาสตร์ (Kinematics) แต่ถ้าพูดถึงวัตถุใด ๆ ที่เคลื่อนที่และคำนึงถึงแรงกระทำที่เป็นต้นเหตุให้แรงนั้นเคลื่อนที่ด้วย เรียกว่า พลศาสตร์ (Dynamics) หรือ (Kinetics) ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยจะเป็นการเปรียบเทียบวัตถุ ที่เคลื่อนที่แทนการเคลื่อนที่ของกระดูกในร่างกายมนุษย์เท่านั้น ไม่ลงลึกไปถึงการคำนวณทางฟิสิกส์แต่อย่างใด

กระบวนการสร้างหุ่น Armature เพื่อใช้ในการผลิตตัวละครสำหรับสตอปโมชันแอนิเมชัน นั้น จำเป็นที่จะต้องศึกษาข้อต่อส่วนต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของร่างกาย โดยอ้างอิงกับหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว จลนศาสตร์ (Kinematic) เพื่อออกแบบโครงสร้างที่เสมือนข้อต่อมนุษย์ โดยค้นหาจากหลักการดังนี้

- ข้อต่อ และการเคลื่อนไหวของกระดูก Joint and skeletal movement
- เปรียบเทียบข้อต่อและการเคลื่อนไหวของร่างกายกับข้อต่อวัสดุที่ผลิตจากการคำนวณด้านวิศวกรรม และผลิตออกมาเป็นวัสดุในอุตสาหกรรม



ภาพ 113 แสดงการจำแนกประเภทของข้อต่อบนพื้นฐานของโครงสร้างและหน้าที่
ที่มา : Lumen Learning, 2017

2.5.1 ข้อต่อ และการเคลื่อนไหวของกระดูก Joint and skeletal movement

ข้อต่อของโครงกระดูกมนุษย์ที่มีการเคลื่อนไหวได้ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังต่อไปนี้

1. ข้อต่อชนิดเคลื่อนไหวได้เล็กน้อย (SLIGHTLY MOVABLE JOINTS) เช่นที่กระดูกสันหลัง แต่ละข้อ ทำให้สามารถก้ม-เงย-หมุนบิดได้ ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย มีลักษณะเอียงไปด้านข้าง ก้มมาข้างหน้า หรือแอ่นไปด้านหลังได้ มีลักษณะโค้งไปได้ทุกทิศทาง
2. ข้อต่อชนิดเคลื่อนไหวได้เป็นอิสระ (FREELY MOVABLE JOINTS) ข้อต่อชนิดนี้ทำงานได้อย่างกว้างขวาง และมีประสิทธิภาพ และแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักได้ดี ข้อต่อชนิดนี้แบ่งย่อยตามลักษณะต่าง ๆ กันออกเป็น 7 ชนิดคือ
 - 2.1. ข้อต่อแบบวงแหวน (PIVOT JOINTS) คือข้อต่อที่กระดูกชิ้นหนึ่งหมุนสวมอยู่ในวงของกระดูกอีกอันหนึ่งในรัศมี รอบตัว เช่นข้อต่อของกระดูกก้านคอ (ATLAS และ AXIS) เวลาหมุนคอไปมา และข้อต่อของกระดูกปลายแขน (ULNA & RADIUS) เช่นเวลา หงายคว่ำมือ

- 2.2. ข้อต่อแบบบานพับ (HINGE JOINTS) มีลักษณะเช่นบานพับคือ อาจพับไปข้างหน้า และข้างหลังทางใดทางหนึ่ง เช่นที่กระดูกแขนท่อนบนและท่อนล่าง โดยพับที่ข้อศอก กระดูกขาท่อนบนและท่อนล่างโดยพับที่หัวเข่า และตามนิ้วมือ นิ้วเท้า และระหว่างข้อต่อกระดูกขากรรไกรล่าง กับกะโหลกศีรษะ
- 2.3. ข้อต่อแบบอานม้า (SADDLE JOINTS) มีกระดูกชิ้นหนึ่งเว้าแบบอานม้ามาสวมกับกระดูกอีกชิ้นหนึ่ง ซึ่งนูนเป็นสัน เช่นที่ข้อของกระดูกฝ่ามือ ของนิ้วหัวแม่มือ กับกระดูก TRAPEZIUM ของ CARPUS ต่อกัน ทำให้นิ้วหัวแม่มือเคลื่อนไหวได้สะดวกยิ่งขึ้น
- 2.4. ข้อต่อแบบหน้าแบน (PLANE JOINTS) ได้แก่ ข้อต่อที่มีลักษณะของกระดูกหน้าแบนมาพบกัน เคลื่อนไหวชนิด ฎ-เลื่อน ไป-มา เช่น กระดูกข้อเท้า ระหว่างกระดูกสันหลัง หรือรอยต่อระหว่างปลายไหปลาร้ากับสะบัก เรียกอีกอย่างว่า ข้อต่อไถลiding (gliding joint) มีการเคลื่อนไหวแบบเลื่อนไถลไปบนพื้นผิวกระดูกที่เรียบที่อยู่ทางด้านตรงกันข้าม
- 2.5. ข้อต่อแบบปุ่มกลม (CONDYLE JOINT) คือชนิดต่อกันโดย CONDYLE ทำให้มีการเคลื่อนไหวเป็น 2 ทาง คือไปข้างหน้าและข้างหลังทางหนึ่ง และไปข้างๆ อีกทางหนึ่ง เช่นที่กระดูกฝ่ามือกับโคนกระดูกนิ้วมือ กระดูกฝ่าเท้ากับโคนกระดูกนิ้วเท้า
- 2.6. ข้อต่อแบบเบ้ากลม (BALL & SOCKET JOINTS) คือมีกระดูกชิ้นหนึ่งมีหัวกลม สวมเข้าไปในเบ้า (CAVITY) ของอีกอันหนึ่ง ทำให้หมุนไปมาได้ย่ำดี เช่นที่ กระดูกต้นแขนหัวฝังอยู่ใน CAVITY ของกระดูกสะบัก และต้นขาตอนหัวฝังกับกระดูกสะโพก (HIP JOINT)
- 2.7. ข้อต่อแบบรูปรี (ELLIPSOID JOINTS) คล้ายคลึงกับ BALL & SOCKET JOINTS ต่างกันที่หัวกระดูกด้านหนึ่งอยู่ในลักษณะรูปไข่ติดต่อกับกระดูกอีกด้านหนึ่งเป็นเบ้ารียาวเช่นที่ปลายของกระดูกปลายแขน กับกระดูกข้อมือ ซึ่งช่วยในการงอและเหยียดข้อมือ

เปรียบเทียบข้อต่อและการเคลื่อนไหวของร่างกายกับข้อต่อวัสดุที่ผลิตจากการคำนวณด้านวิศวกรรม และผลิตออกมาเป็นวัสดุในอุตสาหกรรม

เมื่อแยกประเภทข้อต่อแล้ว สามารถจำแนกได้ว่า โครงสร้างกระดูกมนุษย์มีจุดหมุนที่สำคัญหลายจุดด้วยกัน โดยผู้วิจัยได้ทำการจำแนกตามการหมุนของข้อต่อ โดยกำหนดท่าทางของตนเองเพื่อวัดขนาดองศาของการหมุน เพื่อเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ข้อต่อกระดูกสันหลัง มีการโค้งงอและบิดได้เล็กน้อย และไปได้ทุกทิศทาง โดยสามารถก้มตัวมาด้านหน้า เอนตัวไปด้านหลัง ด้านข้าง ทั้งซ้ายและขวาได้ แต่เล็กน้อย
2. ข้อต่อส่วนคอ สามารถหมุนด้านข้างได้ทั้งซ้ายและขวา ไม่เกิน 90 องศาจากจุดหมุน รวมทั้งการหมุนขึ้นและลง ได้ไม่เดินด้านละ 90 องศาเช่นกัน

3. ข้อต่อส่วนพับของศอกและเข่า
4. ข้อของกระดูกฝ่ามือ สามารถหมุนได้ในทิศทางอิสระแต่ได้เพียงเล็กน้อย ไม่เกิน 15-30 องศา
5. ข้อต่อส่วนปลายเท้า มีลักษณะแบน ภูไปมาได้ หมุนได้ บิดตัวได้เล็กน้อย
6. กระดูกนิ้วมือและนิ้วเท้า เป็นกระดูกที่ต่อกันแล้วสามารถเคลื่อนไหวได้สองฝั่ง หมุนได้ในทิศทางเดียว และไม่เกิน 90 องศา
7. กระดูกต้นแขนและต้นขา สามารถหมุนได้หลายทิศทางมากกว่า 180 องศา

2.6 การศึกษาด้านกฎการเคลื่อนไหวตัวละครแอนิเมชัน 12 ข้อ (the fundamental principles of animation)

คือการทดลองวาดตัวการ์ตูนที่ละเฟรมเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวที่มากกว่าความเป็นจริง หรือเคลื่อนไหวได้มากกว่ามนุษย์ปกติทั่วไป โดยผู้เขียนกฎ ทั้ง 12 ข้อนี้ขึ้นมาคือกลุ่มคนที่ทำงานกับบริษัท วอลต์ดิสนีย์ (Walt Disney) ก่อตั้งเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2466 (ค.ศ. 1923) โดยสองพี่น้องดิสนีย์ วอลต์ ดิสนีย์ และพี่ชาย รอย ดิสนีย์ พวกเขาได้สร้างผลงานแอนิเมชันที่มีชื่อเสียงระดับโลกมากมาย และเป็นกลุ่มแรกที่ทดสอบการเคลื่อนไหวของตัวการ์ตูนและต่อมา Frank Thomas และ Ollie Johnston ได้รวบรวมเขียนเป็นหนังสือชื่อ และวิเคราะห์ออกมาเป็นกฎทั้ง 12 ข้อ ในปี พ.ศ. 2524 (ค.ศ. 1981) ซึ่งเป็นที่ยอมรับไปทั่วโลก พวกเขาบอกว่า “แอนิเมเตอร์ยังคงค้นหาวิธีการที่ดีกว่าในการเชื่อมโยงภาพวาดซึ่งกันและกัน (frame by frame) และพบวิธีการบางอย่างที่ดูเหมือนจะให้ผลลัพธ์ที่คาดเดาได้ พวกเขาไม่สามารถคาดหวังความสำเร็จได้ทุกครั้ง แต่เทคนิคพิเศษในการวาดตัวละครที่เคลื่อนไหวได้ให้ความมั่นใจมากขึ้น เมื่อแต่ละกระบวนการได้มีชื่อเรียกเฉพาะในตัวของมัน จึงได้รับการวิเคราะห์และทำให้สมบูรณ์ ต่อมาก็เป็นที่พูดถึงและเมื่อศิลปินใหม่เข้าร่วมทีมงาน พวกเขาได้รับการสอนการปฏิบัติตามหลักการเหล่านี้ราวกับว่ามันเป็นกฎของการวาดการ์ตูนแอนิเมชัน ทำให้ขั้นตอนเหล่านี้กลายเป็นหลักการพื้นฐานของแอนิเมชันในที่สุด” (Thomas, F., & Johnston, O., 1981) หลักการที่กล่าวมานี้แบ่งออกเป็นหัวข้อใหญ่ๆ 12 ข้อด้วยกัน ได้แก่

1. Squash and Stretch คือ การยืด การหดตัว จาก pose หนึ่งไปยังอีก pose หนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของมวลวัตถุ รวมไปถึงวัตถุที่เป็นของแข็งด้วย โดยมีหลักการคือ ทำให้รู้สึกได้ และไม่ควรให้เห็นแบบจืดจาง เมื่อวัตถุที่มีรูปร่างแน่นอนกำลังขยับจากภาพที่ 1 ไปยังภาพถัดไป วัตถุนั้นจะถูกระบุว่ามียูปร่างที่แน่นอนและจะเน้นไปที่การเคลื่อนไหวในชีวิตจริง เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นเฉพาะวัตถุที่มีรูปร่างที่แน่นอนเช่น แก้ว อี จาน กระดาษ สำหรับสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นโครงกระดูกก็จะมี การเคลื่อนไหวภายในรูปร่างของตนเอง ระหว่างการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวตัวอย่างที่ดี คือ การงอแขนที่จะมีการโป่งของ bicep จนกระทั่งเห็นเส้นเอ็นอย่างชัดเจน ตัวอย่างที่ 2 คือการแสดงอารมณ์บนใบหน้าไม่ว่าจะเป็น การเคี้ยว ยิ้ม พุดคุย จะดูเป็นธรรมชาติด้วยการเปลี่ยนรูปร่างของแก้ม ปาก และ

ดวงตา ตำแหน่งการบีบอัดหรือเรียกว่า squash สามารถแสดงด้วยรูปร่างที่ถูกทำให้แบนจากแรงกด หรือการกระเด็นกลับด้วยการผลักตำแหน่งยืดหรือเรียกว่า stretch จะแสดงรูปร่างในช่วงยืดขยายการเคลื่อนไหวจากภาพที่หนึ่งไปยังอีกภาพหนึ่ง กลายเป็นสิ่งสำคัญของการทำอนิเมชันยกตัวอย่างสำหรับผู้เริ่มต้น คือการวาดลูกบอล ถึงแม้จะดูง่ายแต่พวกเราได้เรียนรู้จากบททดสอบในเรื่องของเวลา การยืดการหด การเปลี่ยนแปลงของรูปร่างของลูกบอลจะรวดเร็วในช่วงตกช่วงแรก และในจุดต่ำสุดจะมีการเปลี่ยนเซฟเพื่อที่จะสปริงกลับ แต่ถ้าเราวาดรูปเพิ่ม 1-2 รูปที่จุดต่ำสุดจะทำให้ลูกบอลอยู่บนพื้นนานขึ้นทำให้รู้สึกเหมือนการกระโดดมากกว่าการกระเด็นกลับ หลังจากนั้นก็มีการทดลองมากมาย เช่นการวาดรูปบอลกระเด็นหลายครั้งโดยครั้งแรกจะสูงกว่าครั้งต่อไป ทดลองใส่ลายเส้นรอบบอล เพื่อแสดงว่าลูกบอลสามารถหมุนได้ระหว่างการกระเด็น มีการทดลองลูกบอลระเบิดเมื่อสัมผัสพื้นแตกเหมือนเปลือกไข่ ฯลฯ

2. Anticipation หรือการทำท่าเตรียม เป็นการสร้างท่าทางก่อนที่จะไปโพสหลัก เพื่อให้คนดูตาม Action นั้นได้ทัน เป็นการเตรียมพร้อมสำหรับการเคลื่อนไหวครั้งต่อไปและคาดการณ์ท่าทางก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง สิ่งนี้ทำได้โดยนำหน้าการกระทำที่สำคัญในแต่ละครั้ง



ภาพ 114 การทำท่าเตรียม

ที่มา : Thomas, F., & Johnston, O., 1981

3. Staging คือการลำดับเหตุการณ์ก่อน-หลัง เพื่อนำสายตาของผู้ชมและดึงความสนใจไปยังวัตถุที่สำคัญที่สุดก่อน และลดการเคลื่อนไหวของวัตถุรองตามลำดับ รวมไปถึงในฉาก ๆ หนึ่งที่เกิดการเคลื่อนไหวของวัตถุรอบ ๆ ในฉากนั้นต้องทำให้สายตาของผู้ชมมองสิ่งสำคัญก่อนเป็นอันดับแรก เช่น ฉากสยองขวัญ มีต้นไม้ไหวปลิว มีผ้าม่านขยับ เราควรดึงความสนใจไปที่ละลำดับโดยใช้มุมกล้องเป็นตัวชี้หน้าได้อีกด้วย

4. Straight Ahead Action and Pose to Pose การเคลื่อนที่ในแต่ละเฟรมใน Animation จะมี 2 ลักษณะ คือ Straight Ahead คือการทำทีละเฟรมต่อเนื่องไปเรื่อยๆ โดยที่ไม่ได้กำหนดท่าทางล่วงหน้า เช่น การไหลของน้ำ

pose to pose คือ การกำหนดท่าทางหลัก เป็นช่วงๆ เพื่อให้ได้การเคลื่อนไหวที่แม่นยำ

5. Follow Through and Overlapping Action หมายถึงการแสดงท่าทางต่อจาก Action หลัก เพื่อไม่ให้เริ่มและจบพร้อมกัน เช่น การแกว่งเชือก การเคลื่อนตัวแล้วหยุดกระทันหันทำให้เส้นผมปลิวและหยุดในเวลาต่อมา หูที่ยาวหรือหางหรือเสื้อคลุมตัวใหญ่ชิ้นส่วนเหล่านี้จะยังคงเคลื่อนไหวต่อไปหลังจากที่ร่างกายหยุดแล้ว เป็นต้น

6. Slow In and Slow Out คือการเคลื่อนที่ของ Frame inbetween ที่ไม่เท่ากัน โดยการเริ่มต้นเคลื่อนไหว แอนิเมเตอร์จะวาดภาพเดิมซ้ำ ๆ และให้ขยับเพียงเล็กน้อย พอมาถึงจุดกลางระหว่างการเคลื่อนไหวก็เปลี่ยนท่าทางอย่างรวดเร็ว และพอจะจบการเคลื่อนไหวก็กลับมามาที่ละเฟรมให้ขยับทีละน้อยอีกครั้ง จึงจะได้ท่าทางที่ค่อย ๆ เริ่มและค่อย ๆ หยุด เป็นวิธีการทำแอนิเมชันที่สำคัญที่สื่อถึงความเป็น Disney

7. Arcs คือการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง สัดส่วนต่างๆของร่างกายจะเคลื่อนไหวเป็นวิถีโค้งเสมอ เช่น การเตะ การเคลื่อนไหวของแขน หรือแม้กระทั่งสัตว์ทุกชนิด หากสามารถวาดให้เกิดการเคลื่อนไหวแบบโค้งได้จะทำให้ดูมีชีวิตมากขึ้น

8. Secondary Action คือการกระทำรองที่ต่อจากการกระทำหลัก เป็นผู้อยู่ใต้บังคับบัญชาของการกระทำหลักเสมอ หากขัดแย้งกันหรือกลายเป็นเรื่องที่น่าสนใจหรือมีอำนาจเหนือกว่าในทางใด ๆ แสดงว่าเป็นการเลือกที่ผิดหรือมีการจัดฉากไม่เหมาะสม เช่น คนกำลังเศร้าและหยิบกระดาษเช็ดหน้ามาซับน้ำตา แอนิเมเตอร์แนะนำว่าให้วาดการกระทำหลักก่อน เมื่อได้ผลที่ชัดเจนแล้วจึงแทรกด้วยการกระทำรอง เพื่อเสริมให้การกระทำหลักนั้นชัดเจนยิ่งขึ้น

9. Timing and Spacing คือ เวลาที่แสดงในท่าทางนั้น ๆ ควรสอดคล้องกับการเคลื่อนไหวในชีวิตจริง จำนวน frame ที่ใช้ในการเคลื่อนไหวในแต่ละเฟรมได้กำหนดระยะเวลาที่จะดำเนินการบนหน้าจอ หากภาพวาดนั้นเรียบง่ายและแสดงออกได้อย่างชัดเจนก็สามารถวางประเด็นเรื่องราวได้อย่างรวดเร็วและนี่คือสิ่งที่เกี่ยวข้องกับอนิเมเตอร์ในช่วงแรก ๆ เวลาในการ์ตูนเหล่านั้นจำกัด เฉพาะการเคลื่อนไหวที่รวดเร็วและการเคลื่อนไหวช้าเป็นหลัก ดังนั้นจึงมีการเรียกร้องให้มีการจัดการบุคลิกการเคลื่อนไหวของตัวละครขึ้นใหม่และใช้เวลาที่แตกต่างกันนั้นเป็นตัวกำหนดว่าตัวละครนั้นเชื่องซิมหรือไม่ ตื่นเต้นประหม่า หรือผ่อนคลาย นั่นเอง วิธีการสร้างเวลานี้ขึ้นอยู่กับ frame ในฉากนั้น ๆ หากจำนวนเฟรมมากก็จะใช้เวลานานกว่าจำนวนเฟรมน้อย ๆ ซึ่งแอนิเมชันทั่วโลกกำหนดให้ 25 หรือ 30 เฟรมเท่ากับ 1 วินาที

10. Exaggeration การแสดงท่าทางเกินจริง วอลต์ ดิสนีย์ เชื่อในการเข้าถึงหัวใจของทุกสิ่ง และพัฒนาสิ่งที่เขาค้นพบให้โอเวอร์มากขึ้น เช่น ถ้าตัวละครต้องเศร้าให้ทำให้เขาเศร้ามากกว่าเดิม สดใสให้ทำให้เขาสดใสมากขึ้น กังวลก็ให้แสดงออกถึงกังวลมากขึ้น สัตว์ป่าก็ให้ทำให้เขาเป็นสัตว์ป่าที่น่ากลัว หรือ ตัวละครบิดตัวก็ให้วาดบิดเป็นเกรียวโดยไม่ต้องคำนึงถึงโครงสร้างกระดูก เป็นต้น

11. Solid Drawing คือ การโพสท่าทางให้มีมิติ คำนึงถึงปริมาตร ความสมดุล การแสดงท่าทางของตัวละคร ต้องทำท่าทางให้ชัดเจน โดยใช้การมองแบบ silhouette มาเป็นส่วนประกอบเพื่อให้มองภาพนั้นออกได้ว่ากำลังทำอะไร ในนิวยอร์กในปี พ.ศ. 2467(ค.ศ. 1924) แอนิเมเตอร์อาวุโสได้ให้คำปรึกษาแก่ผู้เริ่มต้นว่า "คุณควรเรียนรู้การวาดภาพให้ได้มากที่สุดก่อนที่จะเริ่มสร้างภาพเคลื่อนไหว" ซึ่ให้เห็นว่า "ยิ่งวาดได้ดี ยิ่งง่าย" คุณจะต้องวาดตัวละครในทุกตำแหน่งและจากทุกมุม และต้องจัดฉากจากมุมมองต่าง ๆ มันมีข้อจำกัดมากและใช้เวลานานหากคุณไม่สามารถวาดได้ดี (Grim Natwick . 2467)

12. Appeal จะเป็นเรื่องของรสนิยม หรือ สเน่ห์ของตัวละครเป็นการแสดงออกถึงบุคลิก การแต่งกาย นิสัยของตัวละคร เพื่อสื่อออกมาให้เราคล้อยตามและเชื่อว่าตัวละครนั้นมีอยู่จริง โดยการเคลื่อนไหวให้โดดเด่น และมองออกกว่าตัวละครนั้นมีนิสัยเป็นเช่นไร ซึ่งคำว่า Appeal หมายถึงอะไรก็ได้ที่คน ๆ หนึ่งชอบที่จะเห็นช่องทางการออกแบบที่น่าพึงพอใจ ความเรียบง่าย การสื่อสารและความเป็นแม่เหล็ก สายตาของคุณถูกดึงดูดไปยังรูปที่มีเสน่ห์และเมื่ออยู่ที่นั่นมันจะถูกตรึงไว้ในขณะที่คุณชื่นชมสิ่งที่คุณกำลังเห็น รูปลักษณะที่โดดเด่น เช่น วีรบุรุษสามารถดึงดูดความสนใจได้ คนร้ายแม้จะเย็นชาและมีเลือดฝาดแต่ก็น่าจะดึงดูดใจได้ มิฉะนั้นคุณจะไม่อยากดูว่าตัวละครกำลังทำอะไร สิ่งที่น่าเกลียดและน่ารังเกียจอาจดึงดูดสายตาของคุณได้ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามทั้งการสร้างตัวละครหรือการระบุตัวตนนั้น ต้องมาพร้อมกับการเคลื่อนไหวเพราะถ้ามีตัวละครอย่างเดียวก็น่าจะทำให้โครงสร้างของเรื่องราวไม่มีความแข็งแรง

ภาพวาดที่อ่อนแอขาดความน่าดึงดูด ภาพวาดที่ซับซ้อนหรืออ่านยากขาดความน่าสนใจ การออกแบบที่ไม่ดี รูปร่างที่เงอะงะการเคลื่อนไหวที่น่าอึดอัดใจ ทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำในการเป็น Appeal ผู้ชมเพลิดเพลินกับการรับชมสิ่งดึงดูดใจไม่จำเป็นว่าเป็นการแสดงออกตัวละครการเคลื่อนไหวหรือสถานการณ์ของเรื่องราวทั้งหมด ในขณะที่นักแสดงมีเสน่ห์ดึงดูด แต่การวาดภาพเคลื่อนไหวมีเสน่ห์ยิ่งกว่า

2.7 การขึ้นรูป 3 มิติ และพิมพ์ 3 มิติ

ตาราง 3 แสดงการศึกษาเอกสารและอ้างอิงตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3

วัตถุประสงค์	การศึกษา
เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวกของหุ่นArmature และสร้างผลงานแอนิเมชันประเภทสตอปโมชัน	1. ศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูป 3 มิติ และพิมพ์ 3 มิติ - โปรแกรม 3 มิติ Solid work - เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ได้แก่ เครื่องพิมพ์พลาสติก FDM (Fused Deposition Modeling) และเครื่องพิมพ์เรซิน SLA (Stereolithography)
	2. ศึกษาด้านวิธีการผลิตสตอปโมชันแอนิเมชัน - การเคลื่อนไหวกของตัวละคร - การประกอบชิ้นส่วน Armature เพื่อใช้กับตัวละคร

2.7.1. ความเป็นมาของคอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองเรขาคณิต หรือโปรแกรมขึ้นรูป 3 มิติ (Computer Geometric Modeling)

Shih (2018) ในช่วงทศวรรษที่ 1970 (พ.ศ. 2513) เป็นช่วงเวลาที่มีความก้าวหน้าที่สุดในการพัฒนาฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ ได้แก่ การประดิษฐ์และการพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ ด้วยการพัฒนาพลังการประมวลผลโปรแกรม CAD 3D ชนิดใหม่ที่ใช้ทำงานง่ายและการโต้ตอบได้กลายเป็นความจริง เทคโนโลยี CAD ขยายตัวอย่างรวดเร็วจากการใช้คอมพิวเตอร์ที่ใช้งานง่ายมากขึ้น คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบจำลองที่ซับซ้อนมาก การใช้ตัวสร้างแบบจำลองจากเส้น 2D และ 3D ได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีขั้นนำที่สามารถเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรม การพัฒนาของการสร้างแบบจำลองพื้นผิวและเทคโนโลยีการสร้างแบบจำลองที่เป็นของแข็ง เกิดเป็นรูปเป็นร่างในช่วงปลายปี 1970 แต่ด้วยค่าใช้จ่ายที่สูงของฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์และการเขียนโปรแกรมชะลอการพัฒนาของเทคโนโลยีดังกล่าว ในช่วงเวลานี้ระบบ CAD ที่มีอยู่ทั้งหมดต้องใช้คอมพิวเตอร์เมนเฟรมที่มีราคาแพงมาก ต่อมาในปี 1980 การปรับปรุงฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์สามารถแปลงเมนเฟรมมาสู่เดสก์ท็อปในราคาที่ถูกลงและประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงได้มากขึ้น

ในช่วงกลางทศวรรษ 1980 เทคโนโลยี CAD ได้กลายเป็นจุดสนใจหลักของอุตสาหกรรมการผลิตที่หลากหลายและมีการแข่งขันสูงด้วยวิธีการออกแบบ ร่างแบบ มันเป็นเวลาที่เหมาะที่เทคโนโลยีการสร้างแบบจำลอง 3 มิติให้เป็นของแข็งมีความก้าวหน้าที่สำคัญซึ่งช่วยเพิ่มการใช้งานของเทคโนโลยี CAE (คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม) มาใช้ในอุตสาหกรรม และได้เรียนรู้วิธีการสร้างแบบจำลอง

พารามิเตอร์ ในตอนท้ายของทศวรรษ 1980 CAD / CAM / CAE ได้ยกระดับขึ้น เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ ในปี 1990 โปรแกรม CAD พัฒนาเป็นเครื่องมือออกแบบ ผลิต และจัดการที่ทรงพลัง

ในช่วงหลายปีของการพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างนั้น เริ่มจากโครงสร้างสองมิติ (2D) ไปเป็นโครงสร้างสามมิติ (3D) ไปจนถึงโครงสร้างพื้นผิวเพื่อสร้างแบบจำลองพื้นผิวและสร้างแบบจำลองที่มั่นคง การสร้างแบบจำลองที่เป็นของแข็งพารามิเตอร์ และผลิตภัณฑ์ ต่าง ๆ CAD รุ่นแรกเป็นเพียงโปรแกรมช่วยในการร่างแบบ 2 มิติ เท่านั้น โดยพื้นฐานแล้วมีความเทียบเท่ากับกระดานร่างอิเล็กทรอนิกส์สำหรับโมเดลทั่วไปการใช้งานโปรแกรมประเภทนี้จะต้องมีการสร้างมุมมองหลาย ๆ มุมของวัตถุแยกกันตามที่ต้องการจะเป็นบนกระดานร่าง การออกแบบ 3 มิติ ยังคงอยู่ในใจของนักออกแบบไม่ใช่ในฐานะข้อมูลคอมพิวเตอร์ แต่ต้องสามารถแปลงออกมาเป็นวัตถุ 3 มิติ และเป็นมุมมอง 2 มิติ ได้ด้วยระบบดังกล่าวจะมีข้อได้เปรียบมากกว่าการเขียนแบบแบบดั้งเดิม ความต้องการในการพัฒนาโมเดล 3 มิติ นั้นค่อนข้างมาก เนื่องจากข้อจำกัดของแบบร่าง 2 มิติ การพัฒนาแผนการสร้างแบบจำลองสามมิติเริ่มต้นด้วยโครงลวดสามมิติ (3D) แบบจำลองโครงสร้างเป็นแบบจำลองที่ประกอบด้วยจุดและขอบซึ่งเป็นเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างจุดที่เหมาะสม ขอบของแบบจำลองโครงลวดถูกนำมาใช้ซึ่งคล้ายกับเส้นในภาพวาด 2 มิติ เพื่อแสดงถึงการเปลี่ยนของพื้นผิวและคุณสมบัติ การใช้เส้นและจุดเป็นวิธีที่ประหยัดมากในการนำเสนอการออกแบบ 3 มิติ

Randy H. Shin ได้พัฒนาแบบจำลองทางเรขาคณิตด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่และการขยายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงห้าสิบปีที่ผ่านมา (2018) ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าทึ่ง เทคโนโลยีการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์มีความก้าวหน้าพร้อมกับการพัฒนาฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ โปรแกรม CAD รุ่นแรกๆที่พัฒนาขึ้นในปี 1950 แต่ยังไม่ใช่แบบโต้ตอบกับผู้ใช้ ผู้ใช้ CAD ต้องสร้างรหัสโปรแกรมเพื่อสร้างรูปทรงเรขาคณิตสองมิติ (2D) ที่ต้องการ เริ่มแรกการพัฒนาเทคโนโลยี CAD ถูกสร้างขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกการวิจัยทางวิชาการ ในสถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์, มหาวิทยาลัย Carnegie-Mellon และมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ และ บริษัท อุตสาหกรรมที่สำคัญหลายแห่งเช่น บริษัท General Motors, Lockheed, McDonnell, IBM และ Ford Motor Co. ได้เข้าร่วมในการพัฒนาโปรแกรม CAD ซึ่งโต้ตอบในช่วงปี 1960 ระบบ CAD ถูกใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมการบินและหน่วยงานภาครัฐที่พัฒนาโปรแกรมของตนเองสำหรับความต้องการเฉพาะของพวกเขาเป็นหลัก ทศวรรษ 1960 ยังเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Finite Element Analysis หรือ FEA) สำหรับการวิเคราะห์ห้วงมวลสารในคอมพิวเตอร์และการผลิตโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการสร้างเส้นทางเครื่องมือและเครื่องจักร เป็นผู้บุกเบิกชั้นนำในเวลานั้น ซึ่งเกิดการแพร่กระจายของเทคโนโลยี CAD

การพัฒนาอย่างรวดเร็วในสาขา Computer Aided Engineering (CAE) ได้นำความก้าวหน้าที่น่าตื่นตาตื่นใจมาสู่กลุ่มวิศวกรรม ความก้าวหน้าล่าสุดได้สร้างเป้าหมายระยะยาวของวิศวกรรม CAE ได้

กลายเป็นหัวใจหลักของวิศวกรรม มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบให้ได้ผลเร็วขึ้นและมีคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้น SOLIDWORKS เป็นหนึ่งในซอฟต์แวร์ทางวิศวกรรมเครื่องกล ที่พัฒนาโดย Dassault Systèmes ซึ่งเป็นเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในการออกแบบและการจำลองของผลิตภัณฑ์วิศวกรรมเครื่องกลให้เป็นรูป 3 มิติ สามารถสร้างโมเดลด้วยคอมพิวเตอร์ไปสู่การผลิตภายนอกได้ เช่น ศูนย์เครื่องจักรกล เครื่องกลึงโรตารี หรือเครื่องพิมพ์ต้นแบบได้อย่างรวดเร็ว เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ได้จำนวนมาก

กระบวนการผลิตชิ้นงาน 3 มิติ ออกมาให้ได้เป็นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ออกแบบชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ Sketch Design
2. เขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ Computer Aided Drafting
3. จำลองแบบ 3 มิติ ด้วยคอมพิวเตอร์ Computer Geometric Modeling ในที่นี้ ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Solid Work เพื่อจำลองโมเดล 3 มิติ

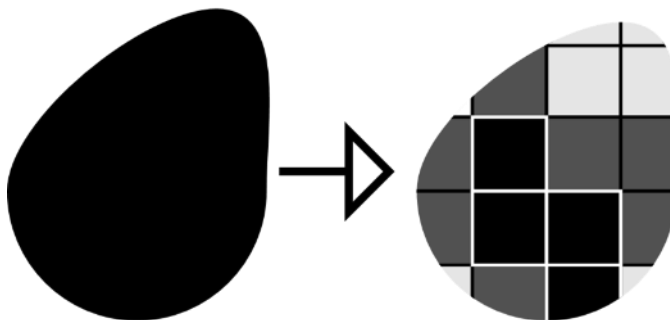


ภาพ 115 แสดงโปรแกรม Solid Work

ที่มา: Solidworks 2018 Modeling Assembly and Analysis, 2018

ประมวลผลเพื่อสั่งการ ให้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยสั่งการแปลงมวลขนาดใหญ่ ให้เป็นหน่วยขนาดเล็ก (Finite Element Analysis หรือ FEA)

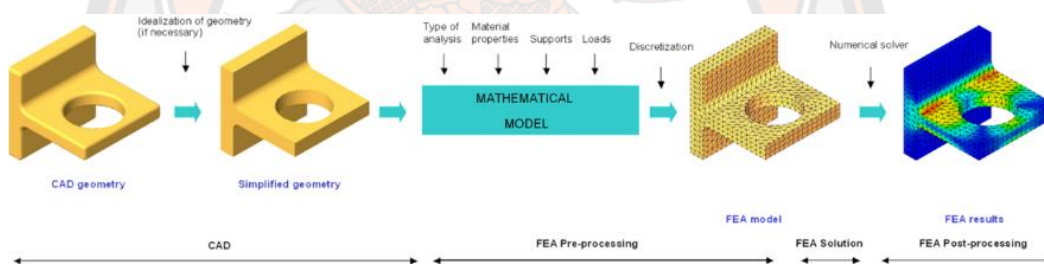
SimAdviser (2557) หลักการของ FEA คือการแบ่งชิ้นงานขนาดใหญ่ออกเป็นชิ้นงานขนาดเล็กๆ ที่มีรูปร่างเป็นเรขาคณิตเช่น สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม เนื่องจากเครื่องมือหรือสูตรคำนวณที่เรามีอยู่สามารถคำนวณได้เฉพาะรูปร่างเรขาคณิต



ภาพ 116 แสดงประมวลผลของระบบ FEA ก่อนจะสั่งพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

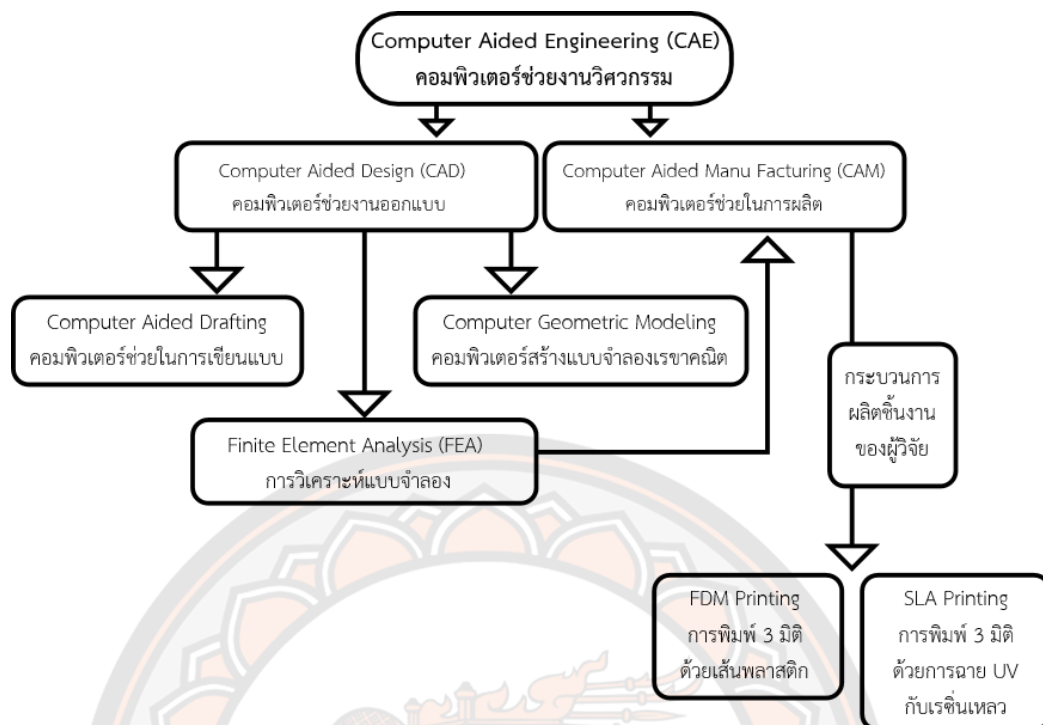
FEA คือการเปลี่ยนชิ้นงานรูปร่างใดๆ ให้กลายเป็นรูปทรงเรขาคณิต เพื่อให้เราสามารถใส่สูตรคำนวณที่มีอยู่ได้ ในการทำ Simulation เราเรียกการแบ่งชิ้นงานเป็นชิ้นเล็กๆว่าการแบ่ง Mesh



ภาพ 117 แสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์ FEA

ที่มา : SimAdviser, 2557

เมื่อศึกษาข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยได้จำแนกขั้นตอนการสร้างหุ่น Armature สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน ตามขั้นตอนการขึ้นรูปสามมิติ ตลอดจนการพิมพ์ สามมิติ ดังนี้



ภาพ 118 แสดงการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

2.7.2. ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

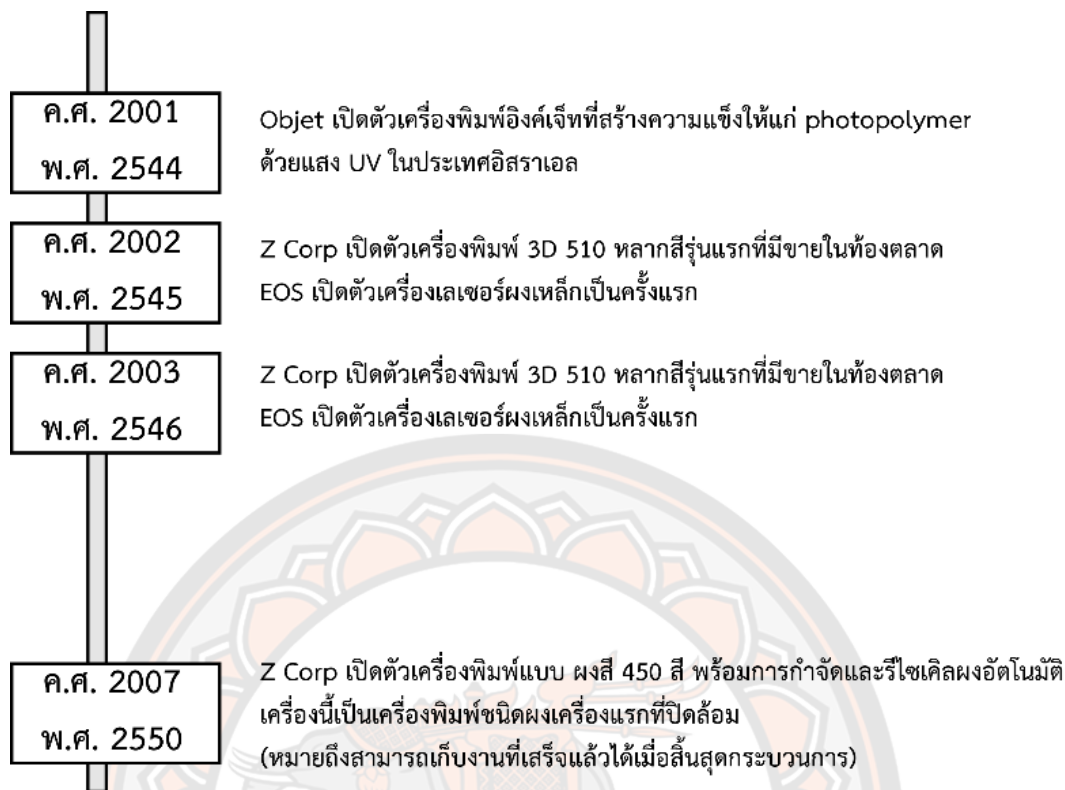
การพิมพ์ชิ้นงานออกมาในรูปแบบ 3 มิติ ได้ถูกพัฒนามาควบคู่กับ CAD (ซอฟต์แวร์ออกแบบงานด้วยคอมพิวเตอร์) เริ่มตั้งแต่ปี 1987 (พ.ศ. 2530) และได้พัฒนาอย่างรวดเร็วภายใน 3 ทศวรรษ ปัจจุบัน (พ.ศ. 2562) เครื่องพิมพ์ 3 มิติได้แพร่กระจายไปสู่ประชาชนทั่วไป สามารถหาซื้อได้ในราคาถูก สามารถพิมพ์วัสดุได้หลากหลายชนิด เช่น เซรามิก เหล็ก พลาสติก และเรซิน รวมไปถึงการแปลงผงสีให้เป็นวัตถุ ซึ่งมีประโยชน์มากในอุตสาหกรรมแอนิเมชันสตอปโมชัน ในที่นี้ผู้วิจัยได้ทดลองใช้งานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อใช้ประโยชน์ในการวิจัย จำนวน 2 ชนิด ดังนี้

- เครื่องพิมพ์พลาสติก FDM (Fused Deposition Modeling)
- เครื่องพิมพ์เรซิน SLA (Stereolithography)

Time Line ความเป็นมาของระบบการพิมพ์ 3 มิติ

ค.ศ. 1987 พ.ศ. 2530	3D Systems ของ Charles Hull ได้เปิดตัว เครื่อง Stereolithographic (SLA1) เป็นครั้งแรก เป็นเครื่องสร้างโมเดล 3 มิติ โดยการฉายแสง UV แบบเรเซอร์
ค.ศ. 1988 พ.ศ. 2531	บริษัท NTT Data CMET ของญี่ปุ่นเริ่มทำการค้ากับ เครื่อง Stereolithographic
ค.ศ. 1989 พ.ศ. 2532	Sony และ D-Mec เริ่มพัฒนา เครื่อง Stereolithographic
ค.ศ. 1990 พ.ศ. 2533	Electronic Optical Systems (EOS) ในเยอรมัน เริ่มขายระบบ Rapid Prototype เป็นครั้งแรก
ค.ศ. 1991 พ.ศ. 2534	ได้มีการเปิดตัวเทคโนโลยีขั้นพื้นฐาน 3 ประเภท ได้แก่ 1.เครื่องพิมพ์พลาสติก FDM, 2.Helisys ได้ออกแบบเครื่อง LOM โดยกระบวนการของ Helisys คือทำให้กระดาษถูกคัดลอกและติดกาวแล้วตัดทีละชั้น 3.Cubital ออกแบบเครื่อง SGC คือเครื่องฉาย UV เป็นชั้นๆ เพื่อให้โพลิเมอร์แข็งตัวผ่านชุดหน้าฉากกลายฉลุ ที่สร้างขึ้นโดยด้วยระบบไฟฟ้าสถิตบนอาคารอง
ค.ศ. 1992 พ.ศ. 2535	DTM เปิดตัวเครื่อง SLS เป็นการขึ้นรูปโดยฉายเรเซอร์กับผงบางชนิด เช่น ไนลอน
ค.ศ. 1993 พ.ศ. 2536	Soligen ทำการผลิตรูปทรงเปลือกหอย โดยใช้สิทธิบัตรของ Massachusetts Institute of Technology (MIT) สำหรับการพิมพ์ในเครื่องหลอมเหลวลงบนผงเซรามิกเพื่อสร้างเปลือกหอยที่ใช้ในกระบวนการหล่อ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเดียวกับที่ Z Corp และ Voxjet ใช้ในปัจจุบัน
ค.ศ. 1994 พ.ศ. 2537	SolidScape เปิดตัวเครื่องพิมพ์แว็กซ์โดยใช้หัวอิงค์เจ็ทเพื่อฝากแว็กซ์ มุ่งเป้าไปที่การหล่อซีเมนต์และการหล่อโลหะเพื่อการใช้งานด้านทันตกรรม
ค.ศ. 1995 พ.ศ. 2538	SolidScape เปิดตัวเครื่องพิมพ์แว็กซ์โดยใช้หัวอิงค์เจ็ทเพื่อฝากแว็กซ์ มุ่งเป้าไปที่การหล่อซีเมนต์และการหล่อโลหะเพื่อการใช้งานด้านทันตกรรม
ค.ศ. 1996 พ.ศ. 2539	ZCorp เปิดตัว ผง MIT ใช้ในเทคโนโลยี binder inkjet
ค.ศ. 1997 พ.ศ. 2540	ZCorp เปิดตัว ผง MIT ใช้ในเทคโนโลยี binder inkjet
ค.ศ. 1998 พ.ศ. 2541	AeroMet เปิดตัว LAM (การผลิตสารเติมแต่งด้วยเลเซอร์) โดยใช้เลเซอร์กำลังสูง เพื่อหลอมโลหะผสมไทเทเนียมแบบผง เป็นบริษัทแรกที่สร้างเครื่องพิมพ์โลหะสามมิติ
ค.ศ. 1999 พ.ศ. 2542	AeroMet เปิดตัว LAM (การผลิตสารเติมแต่งด้วยเลเซอร์) โดยใช้เลเซอร์กำลังสูง เพื่อหลอมโลหะผสมไทเทเนียมแบบผง เป็นบริษัทแรกที่สร้างเครื่องพิมพ์โลหะสามมิติ
ค.ศ. 2000 พ.ศ. 2543	Objet เปิดตัวเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทที่สร้างความแข็งแกร่งให้แก่ photopolymer ด้วยแสง UV ในประเทศอิสราเอล

EnvisionTEC™ เปิดตัวเครื่องทำ Perfactory ใช้ DLP ดิจิตอลการประมวลผลแสง เทคโนโลยีซึ่งใช้ photopolymer โดยการฉายแสง UV ชูบแข็งที่ละเลเยอร์



ภาพ 119 แสดง Time Line ความเป็นมาของระบบการพิมพ์ 3 มิติ

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

ระหว่างปี พ.ศ. 2550 ถึง 2556 เกิดการพัฒนาและจดสิทธิบัตรจำนวนมากในอุตสาหกรรม ซึ่งไม่ได้อยู่ในกระบวนการพัฒนาสิ่งใหม่ แต่เน้นเกี่ยวกับการปรับปรุงวัสดุเป็นหลัก ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2555-2556 ตลาดได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและไม่แน่นอน นับจากหลักการพื้นฐานที่พัฒนาโดย Dr Adrian Bowyer จาก University of Bath และเปิดตัวครั้งแรกในฐานะโอเพ่นซอร์สในปี พ.ศ. 2550 สร้างการกระจายตัวของเครื่องจักร FDM ที่มีราคาต่ำกว่า 500 เหรียญสหรัฐ ซึ่งสร้างวงจรการประชาสัมพันธ์ที่ยิ่งใหญ่ ในวงการพิมพ์ชิ้นงานที่ด้านกราฟิก Gartner Hype การเก็งกำไรของสื่อมากมายตามมาก็เกี่ยวกับวิธีที่เราทุกคนจะมีเครื่องพิมพ์ 3D ที่บ้านเพื่อผลิตสิ่งที่เราต้องการ ผู้นำการตลาดที่ใหญ่ที่สุดคือ 3D Systems และ Stratasys เริ่มซื้อ บริษัท เครื่องพิมพ์ที่ประสบความสำเร็จสูงสุด ในความเป็นจริงแล้ว Stratasys ยังซื้อ IP ของตัวเองกลับคืนด้วยการซื้อ Makerbot ด้วยมูลค่า 400 ล้านดอลลาร์ ในไม่ช้ามันก็เริ่มต้นขึ้นในหมู่ประชาชนที่กว้างขึ้นเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่บ้านราคาถูกเป็นความฝันที่ไม่ไกลเกินไปนัก

การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ DLP หรือ ย่อมาจาก Direct Light Process คือการฉายแสง UV ไปที่น้ำยาเรซิน เพื่อให้เรซินแข็งตัว โดยจะฉายแสงทีละชั้นๆ จนขึ้นมาเป็นรูปทรง เมื่อเลเยอร์แรกเสร็จ

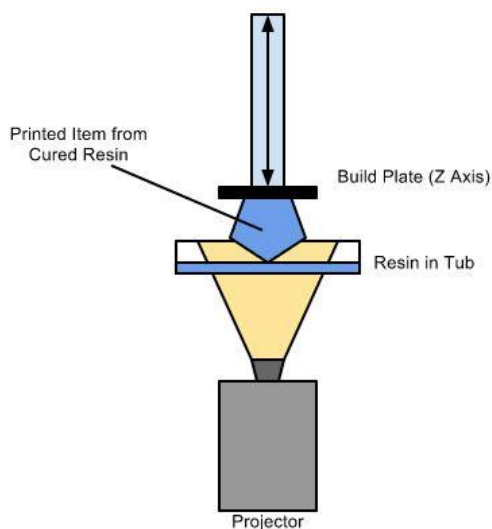
สมบูรณ์จากนั้นแพลตฟอร์มจะลดลงและกระบวนการจะทำซ้ำสำหรับเลเยอร์ที่สองและสามตามลำดับ ไปจนกว่าวัตถุจะถูกสร้างขึ้นอย่างสมบูรณ์ จากนั้นฐานจะยกพื้นขึ้นสู่ด้านบน ตรงตำแหน่งเริ่มต้นและได้วัตถุสำเร็จรูปเราสามารถตกแต่งและทำความสะอาดได้

ข้อดีคือ มีความเรียบและละเอียดมากกว่าเครื่องพิมพ์ FDM ข้อเสียคือ เปราะง่าย ไม่มีความยืดหยุ่น และมีขนาดเล็กกว่าแบบจริงประมาณ 0.5 mm การพิมพ์วัตถุที่มีรู เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. ซึ่งมีขนาดเล็กทำได้ยาก ทำให้รูอุดตัน



ภาพ 120 แสดงเครื่องพิมพ์เรซิน DLP

ที่มา: นิภัตรา บุรีเพ็ญ, 2563



ภาพ 121 แสดงเครื่องพิมพ์ เรซิน DLP .

ที่มา : Print3dd, 2015

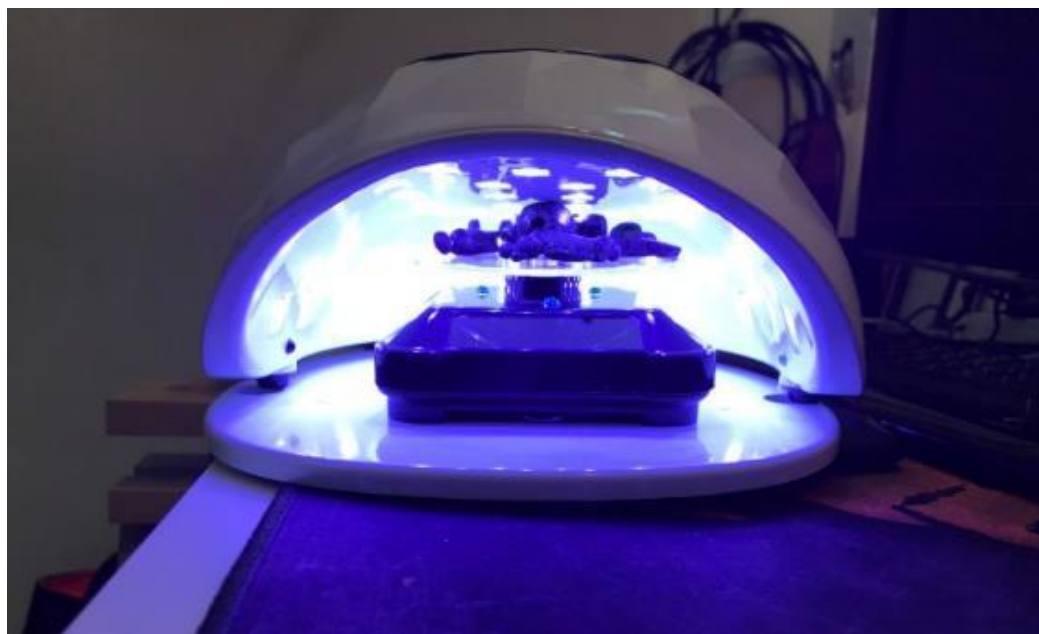
เครื่อง Direct Light Process จำเป็นต้องสร้าง โครงสร้าง support เพื่อช่วยในการสร้าง โมเดลและเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนบางส่วนหล่นลงมาหรือบิดเบือนในระหว่างกระบวนการสร้าง ชิ้นงานโครงสร้าง Support เหล่านี้สร้างขึ้นเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการพิมพ์ในวัสดุเดียวกันกับ ชิ้นส่วนและจะถูกแกะออกหลังจากสร้างชิ้นส่วนแล้ว



ภาพ 122 แสดงตัวอย่าง เส้น Support ที่ใช้ในการยึดเกาะชิ้นงาน

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

ภายหลังจากการสร้างชิ้นงาน 3 มิติออกมาได้แล้ว ผิวของงานจะยังไม่มี ความแข็งแรงพอที่จะนำไปใช้งานได้ แต่เราสามารถแก้ไข ตัด Support ได้ง่ายขึ้น เมื่อเราตัดแต่งโมเดลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต้องนำชิ้นงานไปตากแดด หรือ อบกับเครื่องอบ UV เพื่อให้ชิ้นงานแข็งตัว และนำไปใช้งานได้ในลำดับต่อไป



ภาพ 123 แสดงตัวอย่าง การอบ UV เพื่อให้ชิ้นงานแข็งตัว

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

ในปี 2014 สิทธิบัตรแรกที่ถูกออกให้แก่ Charles Hull ในปี 1986 นั้นหมดอายุและตั้งนั้นจึงเป็นไปได้ที่เครื่องจักรอื่น ๆ จะสามารถเข้าสู่ตลาดโดยใช้เทคโนโลยีเดียวกัน ตัวอย่างที่ชัดเจนคือเครื่อง FormLabs Form 1TM นั้นเป็นโครงการที่ได้รับทุนสนับสนุนตั้งแต่เริ่มแรกซึ่งทำทนายสิทธิบัตรฮัลล์ที่ถือครองโดย 3D Systems; ทั้งสองฝ่ายตกลงที่จะประณามประณอมในเดือนธันวาคม 2556 ก่อนที่สิทธิบัตรจะหมดอายุ อย่างไรก็ตามผลที่ได้คือตอนนี้ เราสามารถซื้อเครื่องสร้างภาพสามมิติในราคาต่ำกว่า \$ 3,000 ในช่วงปีปัจจุบัน (2562)

เครื่องพิมพ์สามมิติ Fused Deposition Modeling (FDM)

เครื่องจักร FDM ผลิตโดยบริษัท Stratasys, 3D System และอื่น ๆ อีกมากมาย FDM เป็นกระบวนการพิมพ์ 3 มิติที่พบบ่อยที่สุดส่วนหนึ่งเป็นเพราะสิทธิบัตรดั้งเดิมหมดลงแล้วและส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของ Dr Adrian Bowyer ที่ Bath University และยังเป็นเพราะกลไกค่อนข้างง่ายในการทำซ้ำ เมื่อเทียบกับ เทคโนโลยีอื่น ๆ เช่น SLA และ SLS ซึ่งใช้เลเซอร์และเลนส์ที่

ซัฟซ็อน Dr Bowyer เป็นผู้พัฒนา RepRap ซึ่งเป็นเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่จำลองตัวเองซึ่งมีความสามารถในการทำซ้ำบางส่วนของตัวเอง เขาวางแผนสำหรับการผลิต RepRap ให้เป็นโอเพ่นซอร์สซึ่งเป็นการสร้างชุมชนใหม่ของผู้สร้างสิ่งประดิษฐ์การพิมพ์ 3 มิติ โดยเฉพาะกระบวนการ FDM ที่จดสิทธิบัตรในปี 1992 นั้นง่ายมาก แพลตฟอร์ม XYZ คาร์ทีเซียน เป็นพื้นฐานของการพิมพ์ 3 มิติทั้งหมดพร้อมด้วยหัวที่เพิ่มความร้อนได้ ฉีดเศษพลาสติกที่ละลายบาง ๆ หนึ่งชั้นในเวลาอันสั้น

เครื่องพิมพ์ FDM จะใช้วัสดุเทอร์โมพลาสติก ที่มีความหลากหลาย เช่น ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) PLA หรือ Polylactic-acid เป็นพลาสติกได้มาจากส่วนผสม วัสดุทางธรรมชาติ เช่น ส่วนประกอบข้าวโพด หรือ ธัญญาพืช นอกจากนี้ยังสามารถฉีดเส้นพลาสติกชนิดยืดหยุ่นได้ เช่น TPU ซึ่งเส้นพลาสติกในปัจจุบัน (2562) มีตัวเลือกมากมายดังต่อไปนี้

Polylactic Acid (PLA) เป็นพลาสติกที่ทำจากวัตถุดิบธรรมชาติเช่นอ้อยหรือแป้งข้าวโพด ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีจุดเด่นคือมีสีให้เลือกเยอะ สีสดใสสะท้อนแสงเล็กน้อย พิมพ์ง่าย (ใช้อุณหภูมิต่ำ ไม่ต้องใช้ฐานความร้อน) เป็นวัสดุแข็ง ไม่ยืดหยุ่น ทนอุณหภูมิได้ต่ำเพียง 60 องศา เป็นวัสดุที่เหมาะสมกับชิ้นงานทั่วไปที่ไม่ต้องรองรับกระแทกและไม่ทนต่อความร้อนสูง

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรม มีความแข็งแรงทนทานกว่า PLA และยืดหยุ่นเล็กน้อย และทนความร้อนได้สูงกว่า พิมพ์ยากกว่า PLA เล็กน้อยเพราะต้องใช้อุณหภูมิสูงและใช้ฐานทำความร้อนเพื่อป้องกันไม่ให้ขอบชิ้นงานงอตัว เหมาะสำหรับชิ้นงานที่ต้องรับแรง ทนความร้อน ใช้งานกลางแจ้ง

PETG (Polyethylene terephthalate Glycol-modified) คือวัสดุที่ใช้ทำขวดน้ำ ขวดพลาสติก มีความเหนียวและทนทาน ไม่ฉีกขาดง่าย ความแข็งแรงเทียบเท่า ABS แต่พิมพ์ง่ายเหมือน PLA มีสีใสโปร่งแสง เหมาะสำหรับใช้แทน PLA ในงานที่ต้องการความแข็งแรงและทนความร้อนสูง

Flexible filament (TPE/TPU) เป็นเส้นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นเหมือนยาง ชิ้นงานที่พิมพ์ออกมาจะนิ่ม บีบได้ เหมาะสำหรับทำของเล่น รองเท้า อาจพิมพ์ยากสำหรับเครื่องพิมพ์บางชนิด เนื่องจากเส้นมีความนิ่มมาก ต้องใช้ความเร็วพิมพ์ค่อนข้างต่ำ



ภาพ 124 แสดงเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รูปแบบ FDM

ที่มา: นิภัศรา บุรีเพ็ญ, 2563



ภาพ 125 แสดงผลงานจากการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเครื่อง FDM

ที่มา: นิภัศรา บุรีเพ็ญ, 2563

2.7.3 เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ในงานแอนิเมชัน

แอนิเมชันสตอปโมชันเป็นอุตสาหกรรมแอนิเมชันที่ใช้เทคโนโลยีพิมพ์ 3D เข้ามาช่วยผลิตและกลายเป็นชุดเครื่องมือที่มีส่วนสำคัญของอย่างรวดเร็ว บริษัทที่ผลิตสตอปโมชัน มีงบประมาณ จำกัด มีทรัพยากรและความจำเป็นในการลงทุนเกี่ยวกับการพิมพ์ 3 มิติคุณภาพสูง จึงมีการขับเคลื่อนเชิงพาณิชย์เพื่อลดค่าใช้จ่ายและรับมือกับการโลจิสติกส์ของการฉายภาพยนตร์หลายขั้นตอนไปพร้อมกัน เพื่อเร่งเวลาการผลิต แรงกระตุ้นแรกเริ่มดูเหมือนว่าจะเป็นเรื่องการเงิน การพิมพ์แต่ละส่วนในแบบ 3 มิติ เป็นการลงทุนที่คุ้มค่ากว่าการจ่ายใครสักคนที่จะปั้นโมเดลด้วยมือ และขณะนี้ เริ่มสังเกตเห็นชุดเครื่องมือใหม่สำหรับการสร้างแอนิเมชันที่จะให้ความรู้สึกคล้ายกับที่ทำด้วยมือแบบดั้งเดิมและจะค่อยๆพัฒนาเป็นลักษณะเฉพาะตัว การพิมพ์ 3 มิตินั้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อแอนิเมชันสตอปโมชัน ซึ่งใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยมากขึ้นเรื่อย ๆ จากเครื่องจักรที่ง่ายที่สุดไปจนถึงทันสมัยที่สุด สตูดิโอแอนิเมชันขนาดใหญ่ไม่เพียงแต่รับรู้ถึงประโยชน์ของการผลิตชิ้นส่วนของโมเดล ในแบบ 3 มิติ แต่ยังสามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มความเร็วในกระบวนการแอนิเมชันอีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้นยังพบกระบวนการที่ให้ผลประโยชน์เชิงอิสระในการสร้างสรรค์ที่มากขึ้นตัวอย่างเช่น พวกเขาสามารถสร้างรูปปากมากขึ้นเพื่อให้ได้ความสมจริงในการแอนิเมทตัวละคร

บริษัทแรกที่ผลิตภาพยนตร์เต็มรูปแบบโดยใช้การพิมพ์ 3 มิติคือ LAIKA Digital Design Group ซึ่งได้ใช้กับภาพยนตร์เรื่องแรก 'Coraline' ของ Henry Selick ซึ่งเปิดตัวในปี 2009 LAIKA พัฒนาเทคนิคของการสร้างแบบจำลอง (Mold) ด้วยดินเหนียวก่อน จากนั้นนำไปสแกนเข้า MAYA (ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการเรนเดอร์ภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ) จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนใหม่สำหรับการพิมพ์ 3 มิติ ในขณะที่พยายามรักษารายละเอียดของกระบวนการที่ทำด้วยมือซึ่งบันทึกไว้ในการสแกนให้มากที่สุด โมเดลถูกพิมพ์โดยใช้เครื่อง Objet Geometrics หลังจากทำความสะอาดแล้วจึงนำไปทาสี อย่างไรก็ตามนี้เป็นเพียงจุดเริ่มต้นของกระบวนการ การพิมพ์แบบจำลอง 3 มิติต้องใช้รูปแบบไฟล์ที่สามารถส่งออกเป็นไฟล์ STL แล้วพิมพ์เป็นแบบจำลองที่มีความแข็งแรง

สตอปโมชันเรื่องต่อมาคือ Paranorman พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สี Z Corp โดย LAIKA เป็นผู้ผลิตภาพยนตร์เรื่องนี้ แต่พบว่าพวกเขาจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนจากเรื่อง Coraline ซึ่งเบื้องหลังใบหน้าแต่ละชิ้นนั้นมีการลงรายละเอียดที่ซับซ้อนและประกอบเข้ากับกลไกลูกตาที่กำหนดเอง Coraline ประสบปัญหาด้านการลบเส้นบริเวณขอบตา จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการลบเส้นเหล่านั้น จึงเกิดการปรับปรุงใบหน้าตัวละครครั้งใหญ่ ในเรื่อง Paranorman คือผิวหนังต้องมีความหนาตลอดแทนที่จะเป็นการแยกชิ้นส่วน



ภาพ 126 แสดงโมเดลใบหน้าที่ได้จากการพิมพ์สามมิติที่ระบายสีทีละชั้นด้วยมือ และกลไกการขยับหน้าตาและเปลี่ยนใบหน้าในแต่ละเฟรม

ที่มา Coraline - Behind The Scenes, 2017

นอกจากนี้เรื่อง Coraline ได้มีการจำลองฟันที่ถูกจัดเข้าและออกผ่านทางด้านหลังของศีรษะ Coraline ภายในปากของเธอรวมถึงลิ้นไก่ ลิ้นและพื้นที่ใต้ลิ้นของเธอซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้เวลานานเกินไปในการแกะสลักด้วยวิธีดั้งเดิม รายละเอียดเหล่านั้นอยู่ในทุกหน้าแม้ว่าจะมองไม่เห็นก็ตาม พวกเขาต้องการเพิ่มจำนวนการขยับที่มีอยู่ในใบหน้า จึงมีการสร้างแบบจำลองและ export ผ่านการพิมพ์ 3 มิติ โดยเครื่องบนและล่างแบ่งแยกจากกันโดยข้ามสันจมูก ซึ่งผลิตได้ถึง 207,336 ใบหน้าสำหรับโครอลไลน์ LAIKA กล่าวว่าหากไม่มีการใช้กระบวนการ CG และเครื่องพิมพ์ 3D พวกเขาจะต้องใช้ช่างแกะสลักสิบคน ใช้เวลาถึง 4 ปีจึงจะเสร็จสมบูรณ์

แม้ว่าการพิมพ์ 3 มิติ จะสามารถเพิ่มความเร็วให้กับกระบวนการแอนิเมชันได้อย่างมหาศาล แต่ก็สามารถสร้างปัญหาเพิ่มเติมได้ ภาพเคลื่อนไหวทั้งหมดที่สร้างขึ้นจะต้องได้รับการแก้ไขแบบดิจิทัลหลังจากถ่ายทำเพื่อลบเส้นเชื่อมใบหน้า ในบริเวณสันจมูก จากนั้นมีปัญหาด้านลอจิสติกส์ในการติดตามชิ้นส่วนที่พิมพ์ออกมาหลายพันชิ้นซึ่งอาจจำเป็นต้องสร้างภาพเคลื่อนไหวเพียงไม่กี่วินาทีเมื่อ LAIKA เปิดตัวภาพยนตร์เรื่อง Boxtrolls (2014) ภาพยนตร์เรื่องนี้จะถูกพิมพ์ลงบนเครื่องพิมพ์สี่เต็มรูปแบบด้วยเครื่อง 3D Systems (Z Corp) 650 ซึ่งใช้วัสดุพลาสติก LAIKA พิมพ์ชิ้นส่วนทั้งหมดด้วยวัสดุในระบบ 3 มิติ แล้วเสริมความแข็งแรงด้วยการใช้เรซินบอนด์ไฮยาโนอะคริเลท เพื่อให้โมเดลแข็งตัว สำหรับผู้ใช้งานพิมพ์ 3 มิติที่ได้รับข้อมูลอาจจะรู้สึกว่าการกระบวนการ Z Corp ให้ผลงานคุณภาพน้อยกว่ามาตรฐานทั่วไป อย่างไรก็ตาม Z Corp มีข้อได้เปรียบหลักสามประการสำหรับแอนิเมเตอร์ สิ่งแรกคือราคาที่เห็นได้ชัด (เช่นวัสดุโดยรวมมีราคาไม่แพง) อย่างไรก็ตามข้อดีอีกสองข้อที่น่าสนใจเป็นพิเศษสำหรับสร้างสรรค์งานทัศนศิลป์ คือ สี

ในการพิมพ์พื้นผิว Z Corp จะทำการพิมพ์สี แต่ละช่วงสีนั้นถูกจำกัดในแง่ของสิ่งที่เราคุ้นเคยกับการพิมพ์อิงค์เจ็ท 2D ที่ทันสมัย แต่ LAIKA เปลี่ยนสิ่งนี้ให้เป็นประโยชน์และใช้สีเพื่อสร้างตัวงานที่

มีเอกลักษณ์เฉพาะ แอนิเมชันสามารถใช้สีได้ก็ที่ได้ที่พวกเขาต้องการสร้างการรับรู้แก่ผู้ชม ไม่จำเป็นต้องเป็นสิ่งที่จะดูสมจริงเกินไป สิ่งนี้้นำเราไปสู่ข้อที่สาม พื้นผิวของรุ่น Z Corp เมื่อมองอย่างใกล้ชิด พื้นผิวมีลักษณะพื้นผิวที่เกือบจะเรียกว่า 'นุ่ม' อีกครั้งที่แอนิเมเตอร์ LAIKA สร้างความได้เปรียบในด้านนี้และใช้ลักษณะที่ปรากฏของพื้นผิวให้เกิดประโยชน์มากขึ้นในภาพยนตร์ทั้งเรื่องเพื่อสร้างความรู้สึกที่ดิบ ปัญหาของพื้นผิวเล็กน้อยนี้เป็นการย้ายตัวละครออกไปจากรูปลักษณะที่เรียบลื่นของทั้ง Objet และ EnvisionTECTM รุ่นที่พิมพ์ที่ใช้ใน Coraline แล The Pirates! In an Adventure with Scientists! ของบริษัท Aardman Animation ภาพยนตร์ทั้งสองมีลักษณะเป็นสตอปโมชันผสมกับ CGI ซึ่งสูญเสียคุณสมบัติบางอย่างของการทำด้วยมือ ซึ่งในเรื่อง Boxtrolls ได้กลายเป็นเอกลักษณ์ของ LAIKA ในที่สุด

กระบวนการแอนิเมชันนำมีการนำเสนอภาพลักษณะที่ดูนุ่มนวลและเป็นมิตรต่อผู้ชมมากขึ้น การพิมพ์ 3 มิติเป็นอุปกรณ์หลักในแอนิเมชันสตอปโมชัน ในเรื่อง The Pirates! In an Adventure with Scientists! กำกับโดย ปีเตอร์ ลอร์ด และ เจฟฟ์ นิวต์ ได้ ออกฉายในเดือนมีนาคม 2555 โมเดลทั้งหมดถูกพิมพ์โดยใช้เครื่อง EnvisionTECTM ซึ่ง Aardman วิ่งเครื่องจักรสามเครื่องเต็มเวลาในระหว่างการถ่ายทำผลิตประมาณ 50,000 ชิ้นส่วน Aardman เลือกใช้ EnvisionTECTM เนื่องจากความสามารถในการพิมพ์ด้วยวัสดุเนื้อสีจึงช่วยลดปริมาณการทาสีที่จำเป็นเพื่อผลิตชิ้นส่วนที่พร้อมใช้กับการถ่ายทำ Aardman ยังใช้การพิมพ์ 3 มิติเพื่อสร้าง 'Dot' ซึ่งเป็นตัวละครภาพเคลื่อนไหว 3 มิติที่เล็กที่สุดในโลก

การพัฒนาการพิมพ์ 3 มิติ ได้เคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วภายในขอบเขตของภาพเคลื่อนไหวสตอปโมชัน ไม่ต้องสงสัยเลยว่าผู้นำในวงการคือ LAIKA ซึ่งภาพยนตร์เรื่องล่าสุด Boxtrolls และ Kubu และ The Two Strings ได้ใช้การพิมพ์ 3 มิติอีกครั้งเพื่อผลักดันให้เกิดสิ่งที่เป็นไปได้

LAIKA พยายามผลักดันเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ Boxtrolls ถูกพิมพ์ลงบนเครื่องจักรสีสี่ (CMYK) Z650 ภาพยนตร์ Kubu และ The Two Strings ล่าสุดของพวกเขาถูกสร้างขึ้นโดยใช้เครื่องจักร Stratasys J750 และ 3D Systems Z650 เพื่อให้ตัวละครได้มีชีวิตขึ้นมา

ในปี 2559 Brian McClaine ผู้อำนวยการด้าน Rapid Prototyping(การสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ) ที่ LAIKA ได้กล่าวถึงภาพยนตร์เรื่องต่อไปของพวกเขา LAIKA จะทำการพิมพ์ 3 มิติโดยใช้เครื่อง Stratasys J750 ทกสีใหม่ที่ใช้สีฟ้าม่วงแดงเหลืองและดำบวกขาวและใสเป็นแนวทางใหม่ของ LAIKA ในการกำหนดสีและวิธีการที่สั่งให้เครื่องใช้งาน

เมื่อ LAIKA ได้ใช้เครื่อง 650s เป็นครั้งแรกพวกเขาที่ใช้เครื่องพิมพ์ 4 สีเครื่องแรกสำหรับการพิมพ์ 3 มิติในตลาด เพื่อให้เข้าใจถึงความสามารถของเครื่องจักร LAIKA ได้ผลิตชุดการทดสอบสีขั้นสูงที่ไม่เพียงทดสอบขอบเขต แต่ยังรวมถึงลักษณะพื้นผิวและคุณภาพสีที่เครื่องสามารถทำได้ จากนั้นพวกเขาก็พิมพ์สิ่งที่พวกเขาอธิบายว่าเป็นชุดเทียบเท่า Pantone พิมพ์ 3 มิติ; จากนั้นหุ่นทั้งหมดจะ

ถูกพิมพ์และเลือกสีที่เกี่ยวข้องกับเสื้อโค้ตสีเหล่านี้ทำให้ LAIKA สามารถพิมพ์ได้อย่างสม่ำเสมอตลอดเมื่อมาถึงตลาดของเครื่องจักร Objet Connex 500 (ตอนนี้เป็นเจ้าของโดย Stratasys) LAIKA ร่วมมือกับ Stratasys เพื่อสร้างส่วนกำหนดค่าสีของตัวเองและผสมผสานการพิมพ์สี เนื่องจากเครื่องพิมพ์สามารถพิมพ์ได้สองสีต่อครั้งเท่านั้นจึงไม่สามารถพิมพ์ชุดค่าผสมหลายสีได้ในคราวเดียว แต่สามารถพิมพ์ชุดค่าผสมสองสีได้ Stratasys อนุญาตให้ลูกค้าสามารถปรับเฟิร์มแวร์ได้ตามความต้องการ LAIKA ใช้กระบวนการออกแบบสีสำหรับโมเดลโดยได้สร้างชุดของการผสมสีที่พวกเขาสามารถใช้งานได้เป็นครั้งแรก LAIKA สามารถพิมพ์ชุดสีต่อคโดยเฉลี่ย ประมาณ 5,000 ชิ้นส่วนต่อวัน ในสำหรับภาพยนตร์พวกเขาสามารถพิมพ์ได้ถึง 207,366 แบบของการแสดงออกทางสีหน้า ตอนนี้การรวมกันของภาพพิมพ์ทำให้สามารถพิมพ์สีหน้าได้สูงสุด 5,000,000 ชิ้น ซึ่งเครื่องมือล่าสุดของ LAIKA นั้นเป็นเครื่องพิมพ์สีเต็มรูปแบบ Stratasys J750 (ปกติคือ CMYK บวกกับสีขาวและใส) LAIKA ทำงานร่วมกับสถาบัน Fraunhofer เกี่ยวกับไดรเวอร์การพิมพ์สี Cuttlefish เพื่อให้ได้งานพิมพ์สีเต็มรูปแบบที่เชื่อถือได้ซึ่งสามารถโปร่งใสหรือทึบแสงได้

ในปี 2015 ภาพยนตร์ที่พิมพ์ 3 มิติ อีกเรื่องหนึ่งคือ Anomalisa เป็นสตอปโมชันที่ใช้การพิมพ์ 3 มิติ ผลงานของ Starburns Industries กำกับโดย Charlie Kaufmann และ Duke Johnson เรื่อง Anomalisa เป็นภาพยนตร์ที่เหมือนชีวิตจริงที่สุด และพิมพ์ 3D โดยใช้เครื่องพิมพ์ Systems Project 600 series (เครื่องพิมพ์เคลือบสีฝุ่นสี) ซึ่งให้คุณภาพที่นุ่มนวลต่อชิ้นส่วนใบหน้าพิมพ์สำหรับภาพยนตร์



ภาพ 127 แสดงสตอปโมชันแอนิเมชันเรื่อง Anomalias

ที่มา: upload.wikimedia.org/wikipedia/en/0/0f/Anomalisa_poster.jpg , ม.ป.ป.

Anomalias แตกต่างจากภาพยนตร์ของ LAIKA หรือ Aardman ซึ่ง Starburns เลือกที่จะไม่ลบเส้นรอยต่อในส่วนองใบหน้า ตัวอย่างเช่น สิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อปากถูกตัดเข้าไปในโครง Armature ด้วยชุดดวงตาแยกชิ้น LAIKA และ Aardman ลบเส้นร่วมเหล่านี้ในขั้นตอนหลังการผลิตและแก้ไขแบบดิจิทัลบนหน้าจอ สำนักข่าว indiewire ได้สัมภาษณ์ Dan Driscoll ผู้ซึ่งทำงานกับ Anomalisa กล่าวว่า “นี่เป็นการตัดสินใจที่มีสติซึ่งสร้างความรู้สึกเป็นพิเศษในภาพยนตร์เรื่องนี้ เขาพบว่าการพัฒนาที่น่าสนใจซึ่งหมายถึงการพิมพ์ภาพเคลื่อนไหว 3 มิติคือ การสร้างสุนทรียศาสตร์การมองเห็น

ของตัวบุคคลเองและพารามิเตอร์ตามจริงทางเทคโนโลยีและวิธีการที่ผู้ชมจะตอบสนองต่อสุนทรียศาสตร์ที่แตกต่างกัน” (Dan Driscoll, 2015)

2.8. ขั้นตอนการผลิตสตอปโมชันแอนิเมชัน

ขั้นตอนการผลิต Stop Motion มีการแบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

Pre production ขั้นตอนการวางแผนก่อนเริ่มถ่ายทำ เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานมากกว่าขั้นตอนอื่นๆ เนื่องจาก Stop Motion คือการผลิตชิ้นส่วนโมเดลทุกชิ้นด้วยมือและเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งมีความยากง่ายตาม concept Art และโครงเรื่องที่ได้วางแผนไว้ มีขั้นตอนดังนี้

- เขียนบทภาพยนตร์และ Storyboard
- ออกแบบ Character, Prop และ ฉาก
- พากย์เสียงเบื้องต้น คือ การภาคเสียงคร่าวๆเพื่อเช็คระยะเวลาในแต่ละฉาก
- ตัดต่อภาพ Animatic เพื่อเช็ค Timing ในแต่ละฉาก เพื่อนับจำนวน Frame
- กำหนด Theme เรื่อง และ Mood and Tone ของเรื่อง โดยการวาด Screen play
- สร้างโครง Armature สำหรับตัวละครตลอดจน หล่อพื้นผิวตัวละครด้วยยางพารา หรือซิลิโคน และตัดเย็บเสื้อผ้าให้ตัวละคร
- ออกแบบและผลิต Facial (การขยับปากและใบหน้าเพื่อแสดงความรู้สึกและพูดได้)ให้กับตัวละคร เช่น พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
- สร้างฉาก และ Prop ประกอบฉาก ด้วยเทคนิคการพิมพ์ 3 มิติ หรือทาสีและปั้นด้วยมือ
- Set ฉากจำลองตามที่เรื่องราวกำหนด หรือฉาก Green screen ให้พร้อม

Production คือขั้นตอนการถ่ายทำ Stop Motion และมีการวางแผนด้านการถ่ายทำ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ฉาก ตัวละคร ผู้ทำการ Animate (เคลื่อนไหวตัวละคร) ผู้กำกับภาพ กล้องถ่ายภาพ และอุปกรณ์ในการถ่ายทำ รวมไปถึงคอมพิวเตอร์และโปรแกรมบันทึกภาพ เช่น Dragon Frame

- จัดวางแสงและชุดไฟให้เหมาะสม พร้อมกับวางตำแหน่งมุมกล้อง และตำแหน่งยืนของ Animator ;วางแผนการแอนิเมทให้ตรงตาม Storyboard
- เตรียมโปรแกรม Dragon Frame (โปรแกรมที่ช่วยในการถ่ายทำ Stop motion)และ memory card ให้เพียงพอ พร้อมทั้งการ backup file หลังจากถ่ายทำ
- เริ่มถ่ายทำ และเก็บรายละเอียดงาน ด้วยโปรแกรม Dragon frame
- จัดการ Save ไฟล์ให้ถูกต้อง จะหาได้ง่าย และ Save ไว้หลายๆที่เพื่อป้องกันไฟล์เสียหาย
- เนื่องจากการถ่ายทำไม่ได้เสร็จภายในวันเดียว จึงจำเป็นต้องวางแผนการจัดฉากให้ครบถ้วนและรัดกุม โดยถ่ายทำทีละฉากๆ และจดรายละเอียดเลข Shot เอาไว้

- ทำการ save file เป็น Image Sequence เพื่อนำไป clean file และตัดต่อ ต่อไป

Post production คือขั้นตอนหลังการถ่ายทำ เริ่มจากรวบรวมภาพถ่าย สตอปโมชันในหลายๆฉาก มาทำการลบ Rig ที่ติดตัวละครออก และรีทัชภาพ หรือลบฉากหลัง เป็นขั้นตอนที่หากถ่ายทำไม่ดีพอจะใช้เวลาอย่างมาก และใช้ความละเอียดในการเช็คทีละเฟรมมาก ต่อจากนั้นจะมีการเพิ่ม Spacial Effect และตัดต่อภาพและเสียง เพื่อให้เกิดเป็นแอนิเมชันขึ้นมา

- clean file ด้วยการลบฉาก Green screen หรือ ลบ Rig ที่พ่วงตัวละครออกทีละ frame

- พากย์เสียงจริงให้กับงาน อาจจะใช้มืออาชีพ หรือดารานักแสดง เพื่อช่วยให้เกิดความสมจริงมากขึ้น

- ตัดต่อภาพและเสียงให้ตรงตาม storyboard

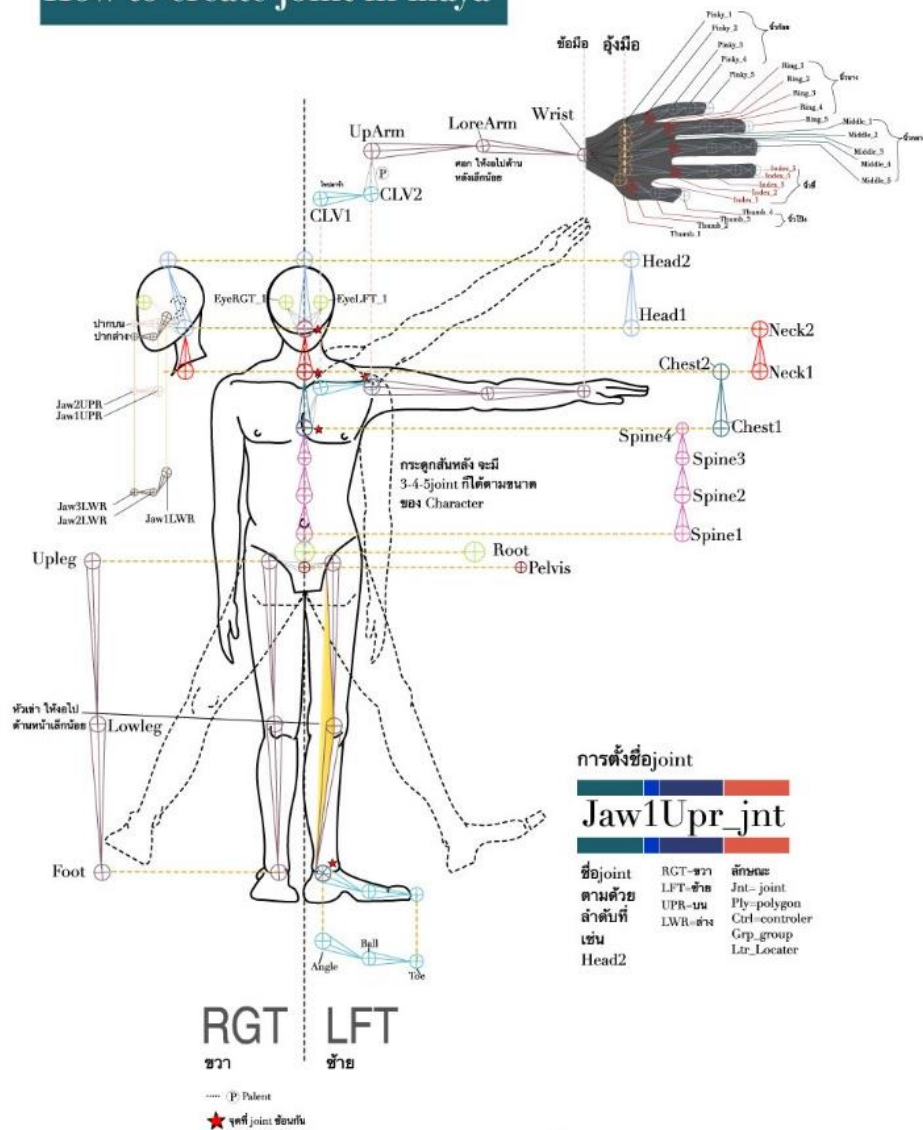
- ปรับโทนสีให้ตรงตาม Concept ของเรื่อง

- ใส่ Special Effect และเสียงเอฟเฟค

- export งานเป็นไฟล์ Video และเผยแพร่ผลงาน

สตอปโมชันมีกระบวนการผลิตต่างจาก แอนิเมชันในเทคนิคคอมพิวเตอร์ ตรงกระบวนการสร้างโมเดล โดยจะเริ่มจากการสร้าง Armature ก่อน จึงจะเพิ่มผิวให้ตัวละครได้ ส่วนแอนิเมชันสามมิติ จะสร้างพื้นผิวก่อน จึงจะเริ่มใส่โครงกระดูก (Rigging) ภายหลัง ซึ่งการวางโครงสร้างกระดูกสามารถนำมาเทียบเคียงกับชิ้นส่วน หุ่น Armature ดังต่อไปนี้

How to create joint in maya



By Nipatsara Bureepia

ภาพ 128 แสดงโครงสร้าง Joint สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์แอนิเมชัน

ที่มา: นิภัตรา บุรีเพี้ย, 2563

ซึ่งโครงสร้างของ Joint จะอ้างอิงกับตำแหน่งการเคลื่อนไหวของข้อต่อของกระดูกมนุษย์ ผู้วิจัยสามารถนำตำแหน่งเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบโครง Armature ได้

2.9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการทำแอนิเมชันแบบสตอปโมชัน โดยแบ่งเป็นวิจัยในประเทศจำนวน 5 เรื่อง และบทความในต่างประเทศจำนวน 5 เรื่อง ดังนี้

วิสิฐ จันมา ได้ทำการวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาโครงสร้าง Armature Mechanic สำหรับงานแอนิเมชันประเภท Stop Motion โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อออกแบบพัฒนาโมเดลโครงสร้างตัวละครสำหรับงานแอนิเมชันประเภท Stop Motion ที่เป็นเครื่องมือแบบระบบทางกล (Armature mechanic) จากวัสดุ เหล็ก อะลูมิเนียม หรือวัสดุอื่น ๆ ที่เหมาะสม มีสัดส่วนแตกต่างและเหมาะสมกับการออกแบบใช้งานจริงในประเทศไทย 2) เพื่อสร้างแอนิเมชัน จากโครงสร้างตัวละครที่เป็นเครื่องมือแบบระบบทางกล (Armature mechanic) โดยที่มีกำหนดเวลาการสร้างผลงานประมาณ 1 นาที เน้นแสดงเทคนิคการสร้างภาพเคลื่อนไหวด้วยโมเดลตัวละครที่ออกแบบขึ้น 3) เพื่อศึกษาพัฒนาความรู้ด้านการออกแบบโมเดลโครงสร้างตัวละครสำหรับงานแอนิเมชันประเภท Stop Motion เพื่อประโยชน์ต่อการเรียนหลักสูตร และสาขาที่เกี่ยวข้องในสถาบันการศึกษา

ผลการวิจัยพบว่า ในส่วนของวัสดุที่เหมาะสมในการออกแบบ มีการทดลองใช้วัสดุต่าง ๆ ชนิดกัน ได้แก่ โครงสร้างหลักของ Armature ส่วนหน้าอก ส่วนสะโพก ส่วนประคบจับยึดข้อต่อต่าง ๆ ใช้วัสดุประเภททองเหลือง เพราะเป็นวัสดุที่มีความ แข็งแรง เหนียว และมีคุณสมบัติไม่แข็งกระด้าง มีเนื้ออ่อน สามารถทำการขึ้นเป็นชิ้นส่วนโครงสร้าง ทำการปรับเปลี่ยนรูปร่าง เจาะ กิ่ง ได้อย่างสะดวกกว่าวัสดุ เหล็ก สแตนเลส อะลูมิเนียม พลาสติก ไม้ และในเรื่องราคาเป็นวัสดุที่มีราคาไม่สูงมาก หาได้ทั่วไปจากร้านวัสดุเครื่องมือช่างต่าง ๆ ส่วนวัสดุที่นำมาใช้ร่วมกันและเป็นวัสดุเสริมสำหรับการออกแบบโครงสร้าง ได้แก่ วัสดุ อะลูมิเนียม เป็นส่วนของน็อต ใช้สำหรับยึดประกอบโครงสร้างข้อต่อต่าง ๆ วัสดุสแตนเลส ใช้ในชิ้นส่วนข้อต่อแบบอิสระหัวลูกบอล (Ball Joint) วัสดุเหล็กใช้ในชิ้นส่วนกระดูกส่วนแขนขา

ศิริศักดิ์ สิริเกษมสุข ได้ทำการวิจัยเรื่อง จลนศาสตร์และการควบคุมหุ่นยนต์โรบอทแขนกล โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) ศึกษาจลนศาสตร์และรูปแบบต่างๆของหุ่นยนต์โรบอท 2) พัฒนาจลนศาสตร์สำหรับหุ่นยนต์โรบอทแขนกลสามมิติ 3) เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับหุ่นยนต์โรบอทแขนกลสามมิติ 4) เพื่อพัฒนาระบบควบคุมหุ่นยนต์โรบอทแขนกลสามมิติ

ผลการวิจัยพบว่า หุ่นยนต์โรบอทแขนกลสามมิติคือ หุ่นยนต์ระบบแบบพาสซีฟ ที่ถูกออกแบบมาสำหรับทำงานร่วมกับมนุษย์โดยตรงได้อย่างปลอดภัย หุ่นยนต์โรบอทแขนกลสามมิติมีชุดสำหรับควบคุมแกนหมุนทั้งสาม โรล, พิตช์ และยอร์ว (roll, pitch and yaw) ของทรงกลม และใช้กลไกแขนกลและระบบส่งกำลังแปลงการหมุนเคลื่อนที่ของทรงกลมเป็นพื้นที่ใช้งานแบบคาร์ทีเซียนเชิงเส้น x และ z งานวิจัยนี้อธิบายถึงการออกแบบและสร้างต้นแบบหุ่นยนต์โรบอทแขนกลสามมิติอย่างละเอียด

และได้หาสมการจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์โรบอทแขนกลนี้โดยแบ่งลำดับความสัมพันธ์เชิงกายภาพ ออกเป็นห้าปฏิกิริยา ประกอบด้วย ปฏิกิริยาดำเนินไป ปฏิกิริยาเชื่อมต่อ ปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ทรงกลม ปฏิกิริยาการจับคู่ และ ปฏิกิริยาการปรับอัตราทด โดยวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางจลนศาสตร์ของแต่ละ ปฏิกิริยา และได้จำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้สมการจลนศาสตร์เหล่านี้เพื่อพิสูจน์ความถูกต้อง ระบบควบคุมของหุ่นยนต์โรบอทแขนกลมีความซับซ้อนโดยประกอบไปด้วยการควบคุมแบบป้อนส่ง และการควบคุมแบบป้อนกลับ ผลการทดลองของการเคลื่อนที่เมื่อทำงานร่วมกับมนุษย์ในเส้นทางที่กำหนดไว้พบว่า ระบบควบคุมสามารถลดความผิดพลาด แขนกลสามารถเคลื่อนที่ได้เรียบลื่น และต่อเนื่อง สามารถตามเส้นทางได้อย่างน่าพอใจ

วิสิฐ จันมา (2561) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนากระบวนการออกแบบภาพยนตร์การ์ตูนแอนิเมชันที่มีอัตลักษณ์ศิลปกรรมไทยร่วมสมัย โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) วิเคราะห์การออกแบบภาพยนตร์การ์ตูนแอนิเมชันที่มีอัตลักษณ์ศิลปกรรมไทยร่วมสมัย ที่ทำการศึกษาจากผลงานวิจัยบทความทางวิชาการ ตำรา เอกสารทั้งไทยและต่างชาติที่มีความเกี่ยวข้องด้านภาพยนตร์แอนิเมชันจำนวน 26 เรื่อง สรุปรวบรวมสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ ด้านภาพยนตร์แอนิเมชันและนักออกแบบตัวการ์ตูนจำนวน 21 คน สรุปรวบรวมวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลงานภาพยนตร์แอนิเมชันและการออกแบบตัวการ์ตูนจากผลงานที่เป็นที่ยอมรับในประเทศไทย จำนวน 26 ผลงาน 2) สร้างกระบวนการ การออกแบบฯ 3. ประเมินผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจต่อภาพยนตร์การ์ตูนแอนิเมชันที่มีอัตลักษณ์ศิลปกรรมไทยร่วมสมัยเพื่อสร้างคุณค่าและเอกลักษณ์ของผลงานด้วยศิลปวัฒนธรรมแบบร่วมสมัยในประเทศไทย และเป็นข้อมูลที่ใช้อ้างอิงเป็นพื้นฐานสำหรับงานออกแบบฯ การศึกษาวิจัยในประเทศไทยและนานาชาติที่เกี่ยวข้องต่อไป กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยฯ แบ่งเป็นการประเมินกระบวนการออกแบบฯ โดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านภาพยนตร์แอนิเมชันจำนวน 6 คน (ชาวไทย 5 คน ชาวต่างชาติ 1 คน) กลุ่มตัวอย่างนิสิตนักศึกษาด้านการออกแบบฯ และบุคคลที่สนใจที่ประเมินความพึงพอใจต่อผลงานภาพยนตร์แอนิเมชันฯ จำนวน 455 ท่าน สถิติที่ใช้ในการวิจัยคือ ค่าร้อยละค่าเฉลี่ย (\bar{X}) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการวิจัยพบว่าข้อสรุปทั้งหมดได้กระบวนการออกแบบผลงานภาพยนตร์การ์ตูนแอนิเมชันที่แสดงอัตลักษณ์ศิลปกรรมไทยร่วมสมัยที่มีชื่อว่า MADCIT (Model Animation Design for Contemporary Identity Thai) ประกอบด้วย 4 กระบวนการดังต่อไปนี้ 1) แสดงอัตลักษณ์เฉพาะตนในผลงานออกแบบฯ 2) แสดงความงามทางศิลปะ และประกอบไปด้วยข้อสรุปประเด็นย่อยต่างๆ 3) แสดงวิถีชีวิตความเป็นไทย ประกอบไปด้วยข้อสรุปประเด็นย่อยต่างๆ 4) แสดงถึงเทคนิคการนำเสนอผลงาน ผลการวิจัยพบว่าข้อสรุปของการศึกษาวิจัยเรื่องรูปแบบข้อมูลพื้นฐานของอัตลักษณ์ความเป็นไทยร่วมสมัย

นราธิป อ่ำเที่ยงตรง และ เรืองรอง จรุงพงษ์ศักดิ์ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การรับรู้ที่มีต่อการชมงานศิลปะประเภทแอนิเมชันและการตัดสินใจชมของเยาวชน โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาถึงการรับรู้ของเยาวชนที่เป็นนักเรียนในเขตกรุงเทพมหานครที่มีต่องานศิลปะประเภทแอนิเมชันโดยเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่มีภูมิลำเนาที่แตกต่างกัน 2) เพื่อศึกษาถึงกิจกรรมที่สนใจเบื้องต้นของกลุ่มเยาวชนที่เป็นนักเรียนในเขตกรุงเทพมหานคร โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่เคยชมภาพยนตร์แอนิเมชัน และกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เคยชม 3) เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการชมงานศิลปะประเภทแอนิเมชัน โดยเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่เคยชมภาพยนตร์แอนิเมชันในโรงภาพยนตร์ และกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เคยชมแอนิเมชันในโรงภาพยนตร์

ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีภูมิลำเนาแตกต่างกันจะมีผลต่อการเคย/ไม่เคยชมงานศิลปะประเภทแอนิเมชันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มตัวอย่างที่อาศัยในเขตปริมณฑลและต่างจังหวัดเคยชมงานศิลปะประเภทแอนิเมชันมากกว่ากลุ่มตัวอย่างในเขตกรุงเทพมหานคร นอกจากนี้การเคย/ไม่เคยชมแอนิเมชันนั้น ไม่มีผลต่อกิจกรรมที่ทำอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่เคยชมและไม่เคยชมแอนิเมชันในโรงภาพยนตร์ พบว่า การให้ระดับความสำคัญในด้านต่าง ๆ ของผู้ที่เคยชมแอนิเมชันในโรงภาพยนตร์กับผู้ที่ไม่เคยชมแอนิเมชันในโรงภาพยนตร์นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีอยู่ 2 ประเด็นที่กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มได้ให้ความสำคัญแตกต่างกัน นั่นคือ ด้านความมีชื่อเสียงของบริษัทผู้ผลิตแอนิเมชัน และด้านความสนุกและน่าสนใจของเรื่องราว

นายนิพนธ์ कुमारักษ์ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การออกแบบบุคลิกลักษณะเพื่อผลิตภาพยนตร์แอนิเมชัน ประเภทนิยายวิทยาศาสตร์ด้วยทฤษฎีสัญศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของการใช้ปัจจัยและการจัดองค์ประกอบทางศิลปะและการออกแบบในการออกแบบบุคลิกลักษณะตัวแสดง อุปกรณ์ประกอบ และฉากหลังที่สำคัญของภาพยนตร์แอนิเมชันเทคนิค 2 มิติประเภทนิยายวิทยาศาสตร์ที่ประสบความสำเร็จ 2) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะรูปสัญลักษณ์และสัญลักษณ์ความหมายที่มีนัยสำคัญ ต่าง ๆ ที่ใช้และปรากฏในงานออกแบบบุคลิก ลักษณะตัวแสดง อุปกรณ์ประกอบ และฉากหลังที่สำคัญของภาพยนตร์แอนิเมชันเทคนิค 2 มิติประเภทนิยายวิทยาศาสตร์ที่ประสบความสำเร็จ 3) เพื่อหาแนวทางในการออกแบบบุคลิกลักษณะของตัวแสดง อุปกรณ์ประกอบ และฉากหลังที่สำคัญของภาพยนตร์แอนิเมชันเทคนิค 2 มิติประเภทนิยายวิทยาศาสตร์ โดยการใช้ปัจจัยทางศิลปะและการออกแบบ ในการออกแบบรูปสัญลักษณ์และสัญลักษณ์ความหมายเพื่อสื่อความหมายตามเรื่องราวและสื่อถึงความเป็นไทยอย่างเหมาะสม

ผลการวิจัยพบว่า เมื่อพิจารณาจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและด้านการผลิตภาพยนตร์แอนิเมชันในด้าน "ความเป็นไทย" กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ มีความเห็นสอดคล้องกันว่า การออกแบบบุคลิกลักษณะตัวแสดงให้มี "ความเป็นไทย" ในงานภาพยนตร์แอนิเมชัน เป็นปัญหาที่มีข้อ

คำถาม มีข้อถกเถียง และโต้แย้งกันอย่างมากในการออกแบบเพื่อนำไปสู่การผลิตจริงและทางการค้า การออกแบบควรมุ่งเน้นไปที่อัตลักษณ์หรือสไตล์การออกแบบของผู้ออกแบบเอง เน้นความแปลกใหม่ โดดเด่น มีความสวยงาม และมีความเป็นสากล เพื่อให้สามารถต่อสู้แข่งขันเชิงการค้าได้ในตลาดโลก

ศิริพรรณ แสงจันทร์ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ศิลปะเอ็กเพรสชันนิสม์ในการออกแบบงานสร้างภาพยนตร์ของ ทิม เบอร์ตัน โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) ศึกษาศิลปะเอ็กเพรสชันนิสม์ในการออกแบบงานสร้างภาพยนตร์ของทิม เบอร์ตัน 2) ศึกษาความหมายของศิลปะเอ็กเพรสชันนิสม์ที่ปรากฏในการออกแบบงานสร้างภาพยนตร์ของ ทิม เบอร์ตัน โดยดำเนินการวิจัยเชิงคุณภาพ วิเคราะห์และตีความด้วยตนเอง (Interpretive Analysis) โดยการชมภาพยนตร์ของ ทิม เบอร์ตัน จำนวน 7 เรื่อง ได้แก่ Beetlejuice (1988), Batman (1989), Edward Scissorhands (1990), Batman Returns (1992), Sleepy Hollow (1999), Planet of the Apes (2001), Sweeney Todd: The Demon Barber of Fleet Street (2007) และสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบงานสร้างภาพยนตร์

ผลการวิจัยพบว่ามี การนำศิลปะเอ็กเพรสชันนิสม์มาใช้ในการออกแบบงานสร้างภาพยนตร์ของ ทิม เบอร์ตัน ในทุกเรื่อง ซึ่งแบ่งการวิจัยออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ 1) การออกแบบฉากในภาพยนตร์มีลักษณะของโครงสร้างที่บิดเบี้ยวผิดปกติ และประกอบไปด้วยอุปกรณ์ประกอบฉากที่มีรูปร่างหรือลักษณะที่ไม่ปกติ มีการลดทอนรายละเอียดที่สำคัญของอุปกรณ์ประกอบฉากให้มีลักษณะที่ผิดไปจากปกติ การออกแบบฉากมักมีลักษณะคล้ายภาพจิตรกรรมเอ็กเพรสชันนิสม์ และมักใช้สีจัดจ้านตัดกันรุนแรงมาประกอบกัน 2) การออกแบบเครื่องแต่งกายมีลักษณะของความไม่เท่ากัน และแปลกประหลาดกว่าปกติ มีการใช้สีดำ หรือสีจัดจ้านตัดกันรุนแรงภายในเครื่องแต่งกายตัวละครเดียวกัน 3) การออกแบบการแต่งหน้าและทรงผมของตัวละครหลักถูกออกแบบให้มีใบหน้าที่ขาวเกินจริง ขอบตาคล้ำ และมีทรงผมที่ยุ่งเหยิงหรือมีรูปร่างผิดไปจากปกติ ซึ่งพบว่าการออกแบบงานสร้างภาพยนตร์ดังกล่าวสามารถสะท้อนความหมายที่สำคัญของเรื่องราวในแต่ละฉากภาพยนตร์ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งสะท้อนความคิดของผู้กำกับภาพยนตร์ ทิม เบอร์ตัน ได้อย่างดีอีกด้วย

การออกแบบหุ่นโครงสร้าง Armature นั้น ยังไม่ได้จำกัดเฉพาะการเคลื่อนไหวร่างกายของตัวละครเท่านั้น Priebe (2010) ได้เขียนหนังสือเรื่อง The Advanced Art of Stop-Motion Animation ที่เน้นเกี่ยวกับการใช้ Face Armature เพื่อแสดงสีหน้าอีกด้วย เขากล่าวว่า เนื่องจากใบหน้ามนุษย์และสัตว์มักมีความยืดหยุ่น และใช้แสดงอารมณ์ ดังนั้นจึงต้องใช้ Face Armature เพื่อให้สามารถเคลื่อนไหวได้ โดยหุ่นโครงสร้างจะถูกคลุมด้วยโฟมยางหรือซิลิโคนเพื่อให้ดูเหมือนผิวหนังของมนุษย์ ตัวอย่างของหุ่นโครงสร้างที่ใช้ควบคุมการแสดงออกทางสีหน้า ได้แก่ ภาพยนตร์ที่

กำกับโดยทาเทีย โรเซนทอล (Tatia Rosenthal) ตัวละครจะสร้างจากซิลิโคน ใบหน้าของตัวละคร จะหล่อซิลิโคนคลุมคางที่ใส่บานพับไว้สำหรับการเคลื่อนไหวของขากรรไกร โดยมีช่องเสียบเล็ก ๆ สำหรับขยับปากในการสนทนา และการเคลื่อนไหวคิ้วเพื่อการแสดงออกทางสีหน้าที่ชัดเจนขึ้น Face Armature นี้พัฒนาโดยฟิลิปส์ เบรดมอร์ Philip Beadsmoore ผลสำเร็จของ Face Armature นี้คือ สามารถทำให้ริมฝีปากสามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งได้ ตรงกับพยางค์ ที่มีเสียงสระ “อา” หรือ “โอะ” เหมือนที่ปรากฏบนใบหน้านามุขย์จริงๆ ซึ่งไม่สามารถทำได้ในวัสดุคงตัวที่ทำจากพลาสติกแข็ง ทำให้ถ่ายทอดอารมณ์ของตัวละครได้ดีขึ้น



ภาพ 129 แสดง Face Armature

ที่มา: Ken A. Priebe, 2010

หลังจากนั้นได้มีการพัฒนา Face Armature ที่มีความซับซ้อนขึ้น ในภาพยนตร์แอนิเมชันเรื่อง *Uncle Creepy Returns* โดย บริษัทนิวคอมมิค (New Comic Company) ภายใต้การกำกับของสตีเฟน ชิโอด (Stephen Chiodo) ตัวละคร Uncle Creepy เป็นซิลิโคนหุ้ม Face Armature ในรูปแบบของ Ball-and-Socket ที่สร้างขึ้นโดยจอห์น เดล (John Deall) ซึ่งตัว Face Armature จะเป็นกะโหลกอีพอกซี มีชิ้นกรามที่ต่อแบบข้อต่อลูกบอล (Ball joint) ที่สามารถขยับขึ้นลง และจากซ้ายไปขวาคล้ายกรามคดเคี้ยวได้ นอกจากนี้ยังมีส่วนเพิ่มสำหรับการขยับริมฝีปากบนและคิ้วอีกด้วย



ภาพ 130 แสดง Face Armature for Uncle Creepy

ที่มา: Ken A. Priebe, 2010

อีกหนึ่งตัวอย่างหนึ่งที่ใช้วิธีการขั้นสูงใน Face Armature คือ รอน โคล (Ron Cole) นักแอนิเมเตอร์จากนิวยอร์ก การแสดงออกทางสีหน้าและการลิปซิงค์ (Lip sync) ของหุ่นแต่ละตัวทำได้โดยการผสมผสานหุ่นกระบอกและระบบควบคุมโดยสายเคเบิลที่ยึดติดกับใบหน้าของหุ่นและเชื่อมต่อกับกล่องควบคุมภายนอก



ภาพ 131 แสดง Face Armature ที่ควบคุมด้วยสายเคเบิลและกล่องควบคุม

ที่มา: Ken A. Priebe, 2010

เมื่อหมุนแป้นหมุนที่กล่องสายเคเบิล สายที่ต่อจากแป้นหมุนจะวิ่งไปตามลำตัวหุ่นที่ยึดติดเป็นจุดภายในใบหน้า วัสดุใบหน้าถูกหล่อด้วยยางยูรีเทนที่มีความยืดหยุ่น ซึ่งจะมีการยึดหดตัวเป็นการ

เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่เกิดจากการหมุนสายเคเบิล สามารถขยับที่ละเฟรมเพื่อให้มีลักษณะที่เหมือนกับใบหน้าตามธรรมชาติได้

ถึงแม้แอนิเมชันแบบสตอปโมชันเป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง แต่มีข้อจำกัดที่สำคัญคือการแสดงการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว กล่าวคือ การบันทึกภาพการเคลื่อนไหวส่วนใหญ่ มักจะมีขอบคมและไม่มีเวลาเบลอเพื่อแสดงการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วได้ ลักษณะของการเคลื่อนไหวแบบเบลอคือ สามารถทำให้ผู้ชมรับรู้ถึงการเคลื่อนไหวที่รวดเร็วที่มักปรากฏในภาพยนตร์ไลฟ์แอ็กชัน และการสร้างขึ้นในแอนิเมชัน Brostow และEssa (2001) จึงได้นำเสนอวิธีการจำลองภาพเบลอโดยอัตโนมัติ โดยวิธีการเป็นกระบวนการหลังการถ่ายทำ โดยใช้การลำดับภาพทั้งจากแอนิเมชันแบบสตอปโมชันหรือวิดีโอเป็นอินพุต ขั้นตอนแรกจะเป็นการติดตามการเคลื่อนไหวแบบเฟรมต่อเฟรมของวัตถุภายในระนาบภาพ จากนั้นจึงรวมลักษณะที่ปรากฏของฉากเมื่อมันเปลี่ยนไปในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ช่วงเวลานี้สอดคล้องกับความเร็วชัตเตอร์ในการถ่ายทำไลฟ์แอ็กชันและเป็นการควบคุมการเบลอของภาพ



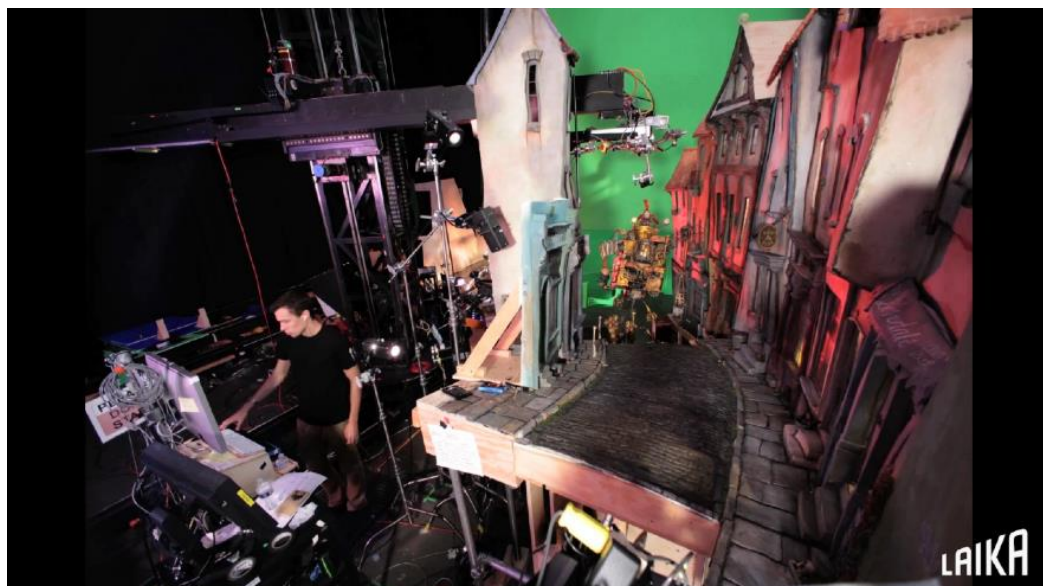
ภาพ 132 แสดงภาพบาสเก็ตบอลเบลอ

ที่มา: Ken A. Priebe, 2010

บาสเก็ตบอลหล่นที่ถ่ายทำด้วยกล้องสองตัว ภาพซ้ายถูกถ่ายด้วยความเร็วชัตเตอร์ 0.001 วินาที ในขณะที่ภาพกลางมาจากกล้องที่มีชัตเตอร์ 0.017 วินาที Gabriel J. Brostow and Irfan Essa (2001) ได้ประมวลผลลำดับภาพที่คมชัดเพื่อแสดงภาพทางด้านขวาสุด ทำให้ภาพมีความเบลอตามที่คาดหวังไว้และแสงยังเหมือนเดิม

ในการควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวละครแบบสตอปโมชัน **สตูดิโอโลก้า (Studio)** ถือเป็นสตูดิโอสตอปโมชันที่ใหญ่ที่สุดแห่งหนึ่งของโลก ที่เป็นผู้ดำเนินการใช้หุ่นยนต์ในการผลิตภาพยนตร์การ์ตูนในอุตสาหกรรมแอนิเมชัน เราอาจเรียกหุ่นยนต์พวกนี้ว่า "ระบบควบคุมการเคลื่อนไหว" ซึ่งในบางครั้งอาจจะใช้ระบบมากกว่า 50 ระบบเพียงแค่เคลื่อนไหวกล้องไปรอบ ๆ ขนาดของหุ่นยนต์มีตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น ภาพยนตร์ The Boxtrolls ที่ใช้หุ่นยนต์หรือหุ่นโครงสร้างที่มีชื่อว่า "Mecha-Drill" ด้วยความสูงประมาณ 4.5 ฟุต และไม่ใช้แค่กล้องและสิ่งมีชีวิตที่ต้องการ

การเคลื่อนไหวเท่านั้น LAIKA สตูดิโอยังต้องจำลองการเคลื่อนไหวของสภาพแวดล้อม เช่น การเคลื่อนไหวของเรือในพายุ จึงได้สร้างฐานที่สามารถเคลื่อนที่ได้หกทิศทาง หรือเรียกว่า hexapod ที่เป็นเทคโนโลยีเดียวกันกับเทคโนโลยีที่ใช้ในเครื่องจำลองการบิน เพียงแต่มีขนาดเล็กกว่าเท่านั้น (Steve Switaj, 2018)



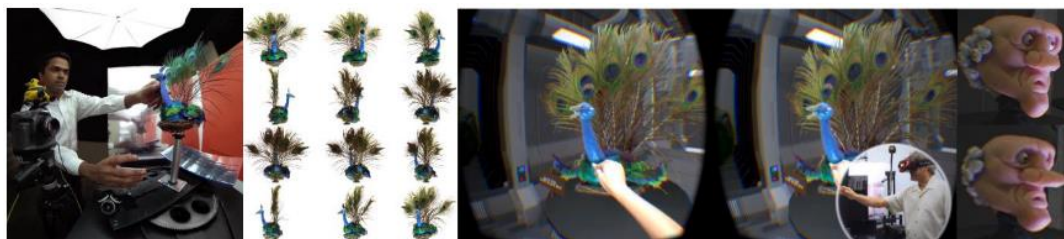
ภาพ 133 แสดงการควบคุมหุ่นโครงสร้างด้วยระบบหุ่นยนต์

ที่มา: Steve Switaj, 2018

นอกจากนี้ในด้านการพัฒนาตัวละคร ได้มีการใช้เทคโนโลยีเครื่องพิมพ์ 3 มิติมาช่วย เช่น แอนิเมชันเรื่องสั้น 8 นาทีเรื่อง Bone Mother ที่ดัดแปลงมาจากเรื่องสั้นโดย Maura McHugh มีการดำเนินเรื่องที่เน้นการสนทนาของตัวละคร ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการแอนิเมตการแสดงออกทางสีหน้าของตัวละครที่หลากหลาย ดังนั้นเทคโนโลยีเครื่องพิมพ์สามมิติจึงได้ถูกนำมาช่วยในการผลิตภาพยนตร์ (Hayward, 2019)

ในด้านการประยุกต์ใช้แอนิเมชันแบบสตอปโมชัน Mark Bolas et.al. (2015) มีความสนใจในการนำแอนิเมชันแบบสตอปโมชันมาสร้างเป็นสิ่งแวดล้อมเสมือน (Virtual Environment) สำหรับแว่นตาเสมือนจริงแบบสวมหัว Mark Bolas et.al. ได้นำเสนอวิธีการสร้างภาพสิ่งแวดล้อมเสมือนจริงและขั้นตอนการทำ เพื่อเป็นทางเลือกทดแทนวิธีการสร้างภาพในปัจจุบันที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ได้แก่ สภาพแวดล้อมแบบ 360 องศา ซึ่งการใช้เทคนิคการเรนเดอร์ภาพแบบสตอปโมชัน จะทำให้ผู้ดูเห็นพื้นผิวและวัสดุที่มีรายละเอียดเล็ก ๆ ของหุ่นโครงสร้างสตอปโมชัน ภาพที่ได้มีขนาดเล็ก และ

นำไปใช้ในเกมเอนจิน คือ Unity3D ได้ สามารถสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้ดูแบบ Near-filed VR ได้



ภาพ 134 แสดงขั้นตอนการประยุกต์ใช้สตอปโมชันในโลกเสมือนจริง

ที่มา: Mark Bolas et.al., 2015



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพผสมผสานกับสถิติเบื้องต้น โดยผู้วิจัยได้จำแนกวิธีดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ดังนี้

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หุ่นโครงสร้างArmature ที่ใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันประเภทสตอปโมชัน

ขั้นตอนที่ 1 ทบทวนเอกสารทางทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีการที่ใช้คือ ศึกษาเอกสารจากสื่อออนไลน์ และจากหนังสืออ้างอิง

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์สัดส่วนและโครงสร้างตัวละคร ในภาพยนตร์สตอปโมชันแอนิเมชัน โดย ศึกษาข้อมูลจากตัวละครหลักจำนวน 10 เรื่อง และสรุปผล

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์สัดส่วนและโครงสร้างตัวละคร ที่ใช้ในระบอบอุตสาหกรรม จำนวน 12 ตัว โดยใช้วิธีสร้างตารางวิเคราะห์ผล

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2. เพื่อออกแบบและสร้างสรรค์หุ่น โครงสร้าง และนำไปใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาทฤษฎีจลนศาสตร์ (Kinematic) และการเคลื่อนไหว (Motion) ของโครงกระดูกมนุษย์และ การเคลื่อนไหวตามกฎ 12 ข้อ ของแอนิเมชัน โดยจำแนกประเภทของข้อต่อบนพื้นฐานของโครงสร้างและหน้าที่ของโครงกระดูกมนุษย์โดย ศึกษาจากหนังสือกายวิภาค และ วิเคราะห์การเคลื่อนไหวของตัวละครแอนิเมชันโดยจำแนกเป็นตารางเปรียบเทียบ และการสร้างสรรค์ท่าทางของตัวละครเพื่อใช้ในการผลิตผลงานสตอปโมชันแอนิเมชัน

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อต่อบนพื้นฐานของโครงสร้างและหน้าที่ของโครงกระดูกมนุษย์ และ การเคลื่อนไหวตามกฎ 12 ข้อ ของแอนิเมชัน

ขั้นตอนที่ 6 ศึกษาวัสดุพิมพ์สามมิติ ที่ใช้ในการผลิตหุ่นโครงสร้าง เพื่อทำการทดลองและเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม ด้วยการศึกษาค้นคว้าข้อมูลและสร้างต้นแบบหุ่นโครงสร้าง Armature ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องพิมพ์พลาสติก FDM

ขั้นตอนที่ 7 นำข้อมูลมาทำการออกแบบใหม่ให้มีคุณสมบัติและบรรลุวัตถุประสงค์ ออกแบบผลงานตามขั้นตอนดังนี้ Sketch design ขึ้นโมเดลด้วยโปรแกรมสามมิติ พิมพ์ชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ โดย เลือกตัวอย่างหุ่นโครงสร้างที่ผลิตในรูปแบบอุตสาหกรรมโดยผลิตเฉพาะการพิมพ์สามมิติมา Re-

product ใหม่ จำนวน 5 แบบและออกแบบชิ้นงานต้นแบบด้วยการพิมพ์ชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

ขั้นตอนที่ 8 ประเมินผลงานออกแบบ หุ่นโครงสร้าง ครั้งที่ 1 โดยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 4 ท่านโดยใช้ แบบสอบถาม และการสัมภาษณ์แบบใช้แบบสัมภาษณ์ที่ไม่มีโครงสร้าง (Non-Structured interview) โดยผู้วิจัยเป็นผู้เก็บข้อมูลเอง และเป็นการสัมภาษณ์ของผู้สัมภาษณ์ 1 คนต่อผู้ให้สัมภาษณ์ 1 คน

แบบสอบถาม และการสัมภาษณ์แบบใช้แบบสัมภาษณ์ที่ไม่มีโครงสร้าง (Non-Structured interview) โดยผู้วิจัยเป็นผู้เก็บข้อมูลเอง และเป็นการสัมภาษณ์ของ ผู้สัมภาษณ์ 1 คนต่อผู้ให้สัมภาษณ์ 1 คน

วัตถุประสงค์ข้อที่ 3. เพื่อทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่น โครงสร้าง และสร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชันสตอปโมชัน

ขั้นตอนที่ 9 สร้างตัวอย่างการนำหุ่นโครงสร้างไปใช้ในงานสตอปโมชันแอนิเมชัน โดยการทดลองถ่ายทำการเคลื่อนไหวตัวละครด้วยท่าทางต่างๆ โดยสร้างผลงานสตอปโมชันแอนิเมชัน ความยาว 3 -5 นาที แสดงท่าทางการเคลื่อนไหวต่างๆ ของหุ่นโครงสร้างตามกฎแอนิเมชัน 12 ข้อ

ขั้นตอนที่ 10 ประเมินผลงานแอนิเมชันสตอปโมชันโดยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน โดยแบบสอบถาม และการสัมภาษณ์แบบใช้แบบสัมภาษณ์ที่ไม่มีโครงสร้าง (Non-Structured interview) โดยผู้วิจัยเป็นผู้เก็บข้อมูลเอง และเป็นการสัมภาษณ์ของ ผู้สัมภาษณ์ 1 คนต่อผู้ให้สัมภาษณ์ 1 คน

ขั้นตอนที่ 11 นำเสนอกระบวนการสร้างหุ่น โครงสร้าง ที่ใช้ในการผลิตตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน โดย วิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผลการวิจัย

ตาราง 4 แสดงวิธีดำเนินการวิจัยและเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	วิธี (Method)	อาสาสมัคร
1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หุ่นโครงสร้าง	ขั้นตอนที่ 1 ทบทวนเอกสารทางทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	ศึกษาเอกสารจากสื่อออนไลน์ และจากหนังสืออ้างอิง	ไม่มี
Armature ที่ใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชัน	ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์สัดส่วนและโครงสร้างตัวละคร ในภาพยนตร์สตอปโมชันแอนิเมชัน	ศึกษาข้อมูลจากตัวละครหลักจำนวน 10 เรื่อง	ไม่มี

วัตถุประสงค์	ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	วิธี (Method)	อาสาสมัคร
ประเภทสโตปโมชัน	ขั้นตอนที่ 3 สรุปผลการวิเคราะห์ สัดส่วนและโครงสร้างตัวละคร ในภาพยนตร์สโตปโมชัน แอนิเมชัน	ตารางวิเคราะห์ผล	ไม่มี
2. เพื่อออกแบบ และสร้างสรรค์ หุ่น โครงสร้าง และนำไปใช้ สำหรับตัวละคร แอนิเมชันสโตปโมชัน	ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาทฤษฎี จลนศาสตร์ (Kinematic) และ การเคลื่อนไหว (Motion) ของ โครงกระดูกมนุษย์ และ การเคลื่อนไหวตามกฎ 12 ข้อ ของแอนิเมชัน	จำแนกประเภทของข้อต่อ บนพื้นฐานของโครงสร้าง และหน้าที่ของโครงกระดูก มนุษย์โดย ศึกษาจาก หนังสือกายวิภาค	ไม่มี
	ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์ ข้อต่อบนพื้นฐานของโครงสร้าง และหน้าที่ของโครงกระดูกมนุษย์ และ การเคลื่อนไหวตามกฎ 12 ข้อ ของแอนิเมชัน	ตารางวิเคราะห์ผล	ไม่มี
	ขั้นตอนที่ 6 ศึกษาวัสดุพิมพ์สาม มิติ ที่ใช้ในการผลิตหุ่นโครงสร้าง เพื่อทำการทดลองและเลือกใช้ วัสดุที่เหมาะสม	ศึกษาข้อมูลและสร้าง ต้นแบบ ด้วยเครื่องพิมพ์ สามมิติ 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องพิมพ์พลาสติก FDM (Fused Deposition Modeling) และเครื่องพิมพ์เรซิน DLP	ไม่มี
	ขั้นตอนที่ 7 นำข้อมูลมาทำการ ออกแบบใหม่ให้มีคุณสมบัติ และ บรรลุวัตถุประสงค์ ออกแบบ ผลงานตามขั้นตอนดังนี้ Sketch design ขึ้นโมเดลด้วยโปรแกรมสามมิติ	เลือกตัวอย่างหุ่นโครงสร้างที่ ผลิตในรูปแบบอุตสาหกรรม โดยผลิตเฉพาะการพิมพ์สาม มิติมา Re-product ใหม่ จำนวน 5 แบบ และ	ไม่มี

วัตถุประสงค์	ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	วิธี (Method)	ภาษา สมัคร
	พิมพ์ชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ	ออกแบบชิ้นงานต้นแบบด้วยการพิมพ์ชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ	
	ขั้นตอนที่ 8 ประเมินผลงานออกแบบ หุ่นโครงสร้าง ครั้งที่ 1 โดยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 4 ท่าน	แบบสอบถาม และการสัมภาษณ์แบบใช้แบบสัมภาษณ์ที่ไม่มีโครงสร้าง (Non-Structured interview) โดยผู้วิจัยเป็นผู้เก็บข้อมูลเอง และเป็นการสัมภาษณ์ของผู้สัมภาษณ์ 1 คนต่อผู้ให้สัมภาษณ์ 1 คน	ภาษาสมัคร: ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 4 ท่าน โดยเลือกกลุ่มผู้เชี่ยวชาญแบบเจาะจงบุคคล
3. เพื่อทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่นโครงสร้าง และสร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชันสตอปโมชัน	ขั้นตอนที่ 9 สร้างตัวอย่างการนำหุ่นโครงสร้างไปใช้ในงานสตอปโมชันแอนิเมชัน โดยการทดลองถ่ายทำการเคลื่อนไหวตัวละครด้วยท่าทางต่างๆ	สร้างผลงานสตอปโมชันแอนิเมชัน ความยาว 3 -5 นาที แสดงท่าทางการเคลื่อนไหวต่างๆ ของหุ่นโครงสร้างตามกฎแอนิเมชัน 12 ข้อ	ไม่มี
	ขั้นตอนที่ 10 ประเมินผลงานแอนิเมชันสตอปโมชันโดยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน	แบบสอบถาม และการสัมภาษณ์แบบใช้แบบสัมภาษณ์ที่ไม่มีโครงสร้าง (Non-Structured interview) โดยผู้วิจัยเป็นผู้	ภาษาสมัคร: ผู้เชี่ยวชาญจำนวน

วัตถุประสงค์	ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	วิธี (Method)	อาสาสมัคร
		เก็บข้อมูลเอง และเป็นการสัมภาษณ์ของ ผู้สัมภาษณ์ 1 คนต่อผู้ให้สัมภาษณ์ 1 คน	7 ท่าน โดยเลือกกลุ่มผู้เชี่ยวชาญแบบเจาะจงบุคคล
	ขั้นตอนที่ 11 นำเสนอกระบวนการสร้างหุ่น โครงสร้างที่ใช้ในการผลิตตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน	วิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผลการวิจัย	

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยได้จำแนกออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. กลุ่มตัวอย่าง ใช้ในด้านการวิเคราะห์เทคนิค
 - 1.1. ข้อต่อของมนุษย์ ข้อมูลด้านกายวิภาคและโครงสร้างกระดูกของมนุษย์
 - 1.2. สัตว์ส่วนของตัวละครสตอปโมชันแอนิเมชันจำนวน 10 เรื่อง เพื่อวิเคราะห์สัตว์ส่วนและโครงสร้างของตัวละคร เรื่อง ได้แก่
 - 1.2.1. Wallace and Gromit ปี ค.ศ. 1989 (พ.ศ. 2532)
 - 1.2.2. The Nightmare Before Christmas ปี ค.ศ. 1993 (พ.ศ. 2536)
 - 1.2.3. Corpse Bride ปี ค.ศ. 2005 (พ.ศ. 2548)
 - 1.2.4. Coraline ปี ค.ศ. 2009 (พ.ศ. 2552)
 - 1.2.5. ParaNorman ปี ค.ศ. 2012 (พ.ศ. 2555)
 - 1.2.6. The Boxtrolls ปี ค.ศ. 2014 (พ.ศ. 2557)
 - 1.2.7. Kubo And The Two Strings ปี ค.ศ. 2016 (พ.ศ. 2559)
 - 1.2.8. Early Man ปี ค.ศ. 2017 (พ.ศ. 2560)

- 1.2.9. ISLE OF DOGS ปี ค.ศ. 2018 (พ.ศ. 2561)
- 1.2.10. Missing Link ปี ค.ศ. 2019 (พ.ศ. 2562)
- 1.3. ต้นแบบหุ่น Armature จากบริษัทต่างประเทศ จำนวน 12 แบบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์วัสดุ และวิธีการออกแบบ เพื่อเปรียบเทียบหาข้อดีและข้อเสียของหุ่นโครงสร้างแต่ละชนิด ได้แก่
- 1.3.1. หุ่นโครงสร้าง Cyclops ของ Ray Harryhausen ปี พ.ศ. 2500
- 1.3.2. หุ่นโครงสร้าง Armature ของ TED SYDOR
- 1.3.3. หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tom Brierton ปี พ.ศ. 2545
- 1.3.4. หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tetsu Kawamura ปี พ.ศ. 2562
- 1.3.5. หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Animation Toolkit ปี พ.ศ. 2562
- 1.3.6. หุ่นโครงสร้าง Armatures Creature Kit ของ บริษัท Aardman ปี พ.ศ. 2562
- 1.3.7. หุ่นโครงสร้าง stickfas ปี พ.ศ. 2545-2562
- 1.3.8. หุ่นโครงสร้าง ModiBot Mo ปี พ.ศ. 2562
- 1.3.9. หุ่นโครงสร้าง Stickybones ปี พ.ศ. 2562
- 1.3.10. หุ่นโครงสร้าง Armature Nine (หรือ A9-RIG) ปี พ.ศ. 2555 -2562
- 1.3.11. หุ่นโครงสร้าง Gemobot ปี พ.ศ. 2558-2560
- 1.3.12. หุ่นโครงสร้าง Skelly The Skeleton ปี พ.ศ. 2562

ได้ทำการ Reproduction ตามกลุ่มตัวอย่างโดยคัดเลือกมา 5 กลุ่มตัวอย่าง โดยได้ข้อสรุปจากการศึกษาข้อมูล พบว่า โครงสร้างหุ่น Armature แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ ได้แก่

ลักษณะที่ 1 คือ เป็นโครงสร้าง Armature ที่ต้องใช้วัสดุหุ้มโครง เช่น ซิลิโคน ยางพารา หรือ ดินน้ำมัน ซึ่งโครง Armature เหล่านี้ทำมาจากเหล็ก ทองเหลือง และอลูมิเนียม

ลักษณะที่ 2 คือ เป็นโครงสร้าง Armature ที่ไม่ใช้วัสดุหุ้มโครง สามารถถอดประกอบได้ง่าย ทำมาจากพลาสติก เรซิน และไม้ และสามารถพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างที่สามารถพิมพ์ 3 มิติได้ จำนวน 5 ตัวอย่าง ได้แก่

1. หุ่นโครงสร้าง ModiBot Mo ปี พ.ศ. 2562
2. หุ่นโครงสร้าง Stickybones ปี พ.ศ. 2562
3. หุ่นโครงสร้าง Armature Nine (หรือ A9-RIG) ปี พ.ศ. 2555 -2562
4. หุ่นโครงสร้าง Gemobot ปี พ.ศ. พ.ศ. 2558-2560
5. หุ่นโครงสร้าง Skelly The Skeleton ปี พ.ศ. 2562

2. **กลุ่มประชากร** ใช้ในด้านการทดสอบประสิทธิภาพ และเสนอแนะเทคนิคการสร้างหุ่น Armature แก่ผู้ทรงคุณวุฒิด้วยการ Delphi 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 จำนวน 4 ท่าน และครั้งที่ 2 จำนวน 7 ท่าน ได้แก่
 - 2.1. **กลุ่มผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบด้านการอธิบายผล** ที่เกิดจากการออกแบบโครงสร้างหุ่น Armature โดยให้ข้อเสนอแนะด้านการออกแบบหุ่น Armature ที่ใช้ในการผลิตแอนิเมชัน 4 ท่าน ได้แก่
 - 2.1.1. คุณดิษพงศ์ วงศ์อร่าม เจ้าของบริษัท Dog film studio
 - 2.1.2. คุณอนุศาสตร์ ทรัพย์เจริญชัย ตำแหน่ง Supervisor Layout/Previs บริษัท Riff studio และ Creative Director บริษัท BLAH
 - 2.1.3. คุณธวัชพงศ์ ตั้งสัจจะพจน์ ผู้กำกับแอนิเมชัน บริษัท Indy Tla'Frame
 - 2.1.4. คุณบันลือ กุณรัักษ์ นักวิชาการช่างศิลป์ กรมศิลปากร และเจ้าของ Fanpage Thai Stop motion
 - 2.2. **กลุ่มผู้ผลิตแอนิเมชันและผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านแอนิเมชัน** จำนวน 7 ท่าน เป็นผู้ทดสอบประสิทธิภาพการเคลื่อนไหว ด้วยการรับชมการเคลื่อนไหว Stop motion และตอบแบบสอบถามความพึงพอใจ ได้แก่
 - 2.2.1. คุณ บันลือ กุณรัักษ์ นักวิชาการช่างศิลป์ กรมศิลปากร และเจ้าของ Fanpage Thai Stop motion
 - 2.2.2. คุณดิษพงศ์ วงศ์อร่าม เจ้าของบริษัท Dog film studio
 - 2.2.3. คุณธวัชพงศ์ ตั้งสัจจะพจน์ ผู้กำกับแอนิเมชัน บริษัท Indy Tla'Frame
 - 2.2.4. คุณยงวิทย์ สันธนะพานิช Co- Founder & CEO บริษัท Mushroom Studio
 - 2.2.5. อาจารย์วราภรณ์ มั่นทุ่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์หลักสูตรเทคโนโลยีมีัลติมีเดีย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
 - 2.2.6. ดร.เสกสรรค์ ญาณปัญญานนท์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบสื่ออนวัตกรรมการภาควิชาศิลปะและการออกแบบ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร
 - 2.2.7. คุณปริญญา ปองเสียม Animation Manager บริษัท The Monk Studio

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

1. **ตัวแปรต้น** คือ วิธีการผลิตหุ่น Armature เพื่อใช้ในการผลิตตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน

2. **ตัวแปรตาม** คือ หุ่นโครงสร้าง Armature ที่ออกแบบขึ้นใหม่ สามารถนำไปใช้งานแอนิเมชันสตอปโมชันได้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและการพัฒนาเครื่องมือสำหรับงานวิจัยนี้ มีเครื่องมือวิจัยทั้งหมดจำนวน 4 เครื่องมือ รายละเอียดดังต่อไปนี้

1. หุ่นโครงสร้างจำนวน 5 แบบ (Reproduction)

การศึกษาและพัฒนารูปแบบโดยการนำกลุ่มโครงสร้างหุ่นจำนวน 5 แบบมาผลิตด้วยวิธีการพิมพ์สามมิติ แล้วนำมาวิเคราะห์ เพื่อหาผลลัพธ์และข้อแตกต่าง

2. หุ่นโครงสร้างต้นแบบที่ออกแบบโดยผู้วิจัย จำนวน 1 แบบ

จากผลการวิเคราะห์หุ่นโครงสร้าง 5 แบบ ผู้วิจัยได้พัฒนาและออกแบบหุ่นโครงสร้างขึ้นมาใหม่ เพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพ จำนวน 1 แบบ และสามารถถอดประกอบเปลี่ยนแปลงสัดส่วนได้ 4 ประเภทได้แก่ 7 ส่วนครึ่ง, 6 ส่วน, 4 ส่วน และ 3 ส่วน

3. แบบสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างและแบบสอบถามประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของหุ่นโครงสร้าง

เป็นการสัมภาษณ์และบันทึกเสียงผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ประเด็นหลัก ๆ เกี่ยวกับการพัฒนาและออกแบบหุ่นโครงสร้างสำหรับงานแอนิเมชันแบบสตอปโมชัน ไม่เรียงลำดับตายตัว เพื่อทำให้เกิดความยืดหยุ่น และเปิดกว้างสำหรับผู้เชี่ยวชาญในการแสดงความคิดเห็น ทำให้ได้ข้อมูลที่หลากหลาย และลึกซึ้งในการนำมาพิจารณาประกอบการวิเคราะห์ข้อมูล ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

สำหรับขั้นตอนการวิจัยที่ 8 เพื่อประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของหุ่นโครงสร้างที่ผู้วิจัยออกแบบ

สำหรับขั้นตอนการวิจัยที่ 10 เพื่อประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพในการนำหุ่นโครงสร้างที่ผู้วิจัยออกแบบไปประยุกต์ใช้ในงานแอนิเมชันแบบสตอปโมชัน

การทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นสำหรับการวิจัยนำไปทดสอบหาความเที่ยงตรง ดังนี้

1. การหาความเที่ยงตรง (Validity) โดยนำแบบสัมภาษณ์ และแบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ไปเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้อง เที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ของคำถามในแต่ละข้อว่าตรงตามจุดมุ่งหมายของการวิจัยครั้งนี้หรือไม่ หลังจากนั้นก็นำมาแก้ไขปรับปรุงเพื่อดำเนินการในขั้นต่อไป

2. การสรรหาผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบแบบสอบถาม ต้องมีคุณสมบัติคือ เป็นนักวิชาการ อาจารย์ หรือนักออกแบบ ที่มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง โดยผู้วิจัยใช้การเลือกกลุ่มผู้เชี่ยวชาญแบบเจาะจงบุคคล โดยมีเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้
 1. สำเร็จการศึกษาขั้นต่ำในระดับปริญญาโท หรือปริญญาเอกทางการออกแบบหรือสาขาที่เกี่ยวข้อง
 2. ทำงานเป็นนักวิชาการ หรืออาจารย์ที่สอนทางการออกแบบหรือสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลด้านเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดเกี่ยวกับการผลิตสตอปโมชันแอนิเมชัน
2. แนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างและการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกมนุษย์
3. แนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างArmature และการเคลื่อนไหวของตัวละครสตอปโมชัน
4. แนวคิดเกี่ยวกับจลนศาสตร์การเคลื่อนไหวของมนุษย์และการเคลื่อนไหวแบบอนิเมชัน
5. แนวคิดด้านโปรแกรมออกแบบภาพ 3 มิติ และการพิมพ์ 3 มิติ

ข้อมูลจากการผลิตหุ่นโครงสร้าง ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากการผลิตหุ่น Armature ด้วยการพิมพ์ 3 มิติ จากวัสดุ เรซิน พลาสติก PLA และ TPU โดยใช้วิธีทดสอบและเก็บข้อมูลตามขั้นตอนดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ในการพิมพ์
2. การถอดประกอบหุ่น Armature
3. การพับงอของข้อต่อหุ่นโครงสร้าง Armature
4. สีสันและความสมดุล
5. การแสดงท่าทางและการเคลื่อนไหว

ข้อมูลจากการตอบแบบสอบถาม/สัมภาษณ์

การ Delphi ครั้งที่ 1 ผู้วิจัยได้กำหนดวัน เวลา และสถานที่สัมภาษณ์กับผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน ดำเนินการสัมภาษณ์โดยใช้วิธีการจดบันทึกการสัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูล การบันทึกเสียงและภาพถ่าย พร้อมเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในด้านการพัฒนาและออกแบบหุ่นโครงสร้าง

การ Delphi ครั้งที่ 2 ผู้วิจัยได้กำหนดแบบสอบถามออนไลน์ และสัมภาษณ์ในรูปแบบออนไลน์กับผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน และนำข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุปผลวิจัยทางสถิติ รวมถึงการหาค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน โดยใช้หลักการวิจัยเชิงคุณภาพ และวัดค่าสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์/แบบสอบถามและนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลการประมาณค่าหรือระดับความคิดเห็น ต้องหาค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) (บุญชม, 2545: 80)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เกณฑ์ค่าคะแนนที่ใช้ในการแปลความหมายของข้อมูลการประมาณค่า 5 ระดับ ได้กำหนดเกณฑ์การพิจารณาขอบเขตของคะแนนเพื่อใช้ในการแปลความหมายของค่าเฉลี่ย ดังนี้

ตาราง 5 เกณฑ์ค่าคะแนนที่ใช้ในการแปลความหมายของข้อมูล

ระดับ	ช่วงคะแนน	
	ต่ำสุด	สูงสุด
น้อยที่สุด	1.00	1.50
น้อย	1.51	2.50
ปานกลาง	2.51	3.50
มาก	3.51	4.50
มากที่สุด	4.51	5.00

แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	มกราคม 2562	สิงหาคม 2562	กันยายน 2562	ตุลาคม 2562	พฤศจิกายน 2562	ธันวาคม 2562	มกราคม 2563	กุมภาพันธ์ 2563	มีนาคม 2563	เมษายน 2563
- ทบทวนเอกสารทางทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
วิเคราะห์กระบวนการผลิต และจัดกลุ่ม Armature ที่ผลิตในปัจจุบัน จำนวน 10 กลุ่มตัวอย่าง										
การวิเคราะห์ เทคนิคการสร้างหุ่น Armature จำนวน 5 รูปแบบ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ และเพื่อมองหาจุดเด่นและจุดด้อยของชิ้นงาน										
ศึกษาวัสดุพิมพ์ 3 มิติ										
ออกแบบชิ้นงานและพิมพ์ 3 มิติ										
นำผลงาน Armature มาสร้างสต่อโมชันแอนิเมชัน										
นำมาทดสอบกับผู้เชี่ยวชาญ										
สรุปผลการวิจัย										
อภิปรายผลการวิจัย										

ภาพ 135 แสดงระยะเวลาและแผนการดำเนินงานวิจัย



บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการประเมินประสิทธิภาพและคุณภาพของหุ่นโครงสร้างโดยผู้เชี่ยวชาญด้านแอนิเมชัน แบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านการออกแบบหุ่นโครงสร้าง และ การนำหุ่นโครงสร้างไปใช้ในงานสตอปโมชันแอนิเมชัน มีผลดังนี้

ผลการศึกษากายวิภาคจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาโครงสร้างกระดูกมนุษย์ พบว่า ผู้ใหญ่ มี กระดูกรวมทั้งสิ้น 206 ชิ้น สัตส่วนของร่างกาย 7 ส่วนครึ่ง ถึง 8 ส่วน เด็ก อายุ 8 ขวบ มีกระดูกทั้งสิ้น 206 ชิ้น สัตส่วนของร่างกาย 6 ส่วนครึ่ง และเด็กอายุ 5 ปี ซึ่งได้วิเคราะห์ข้อต่อที่ใช้ในการเคลื่อนไหวร่างกายหลักๆรวมทั้งสิ้น 69 จุด ดังต่อไปนี้

1 ข้อต่อส่วนคอ และ หัว	2	จุด
2 ข้อต่อส่วนไหล่ปลาร้าและต้นแขน	4	จุด
3 ข้อต่อแขนท่อนบนและแขนท่อนล่างและข้อมือ	4	จุด
4 ข้อต่ออก เอว และ ข้อต่อเชิงกราน	3	จุด
5 ขาท่อนบนและขาท่อนล่าง	4	จุด
6 ข้อต่อข้อเท้าและปลายนิ้วเท้า	22	จุด
7 ข้อต่อในส่วนิ้วมือ	30	จุด

เมื่อได้ผลการวิเคราะห์ข้อต่อของโครงกระดูกมนุษย์แล้วผู้วิจัยจึงได้นำมาเทียบกับหุ่นโครงสร้าง Armature ที่ได้ทำการศึกษาทั้ง 12 แบบ พบว่า ข้อต่อเดิมของมนุษย์มีรวมกันทั้งหมด 69 จุดที่สามารถเคลื่อนไหวได้ ส่วนข้อต่อของหุ่นโครงสร้างทั้ง 12 แบบสามารถนำมาจำแนกได้ดังต่อไปนี้

ตาราง 6 แสดงข้อต่อของหุ่นโครงสร้าง Armature ที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรม 12 แบบ

ชื่อ Armature	ข้อต่อ ส่วนคอ และ หัว	ข้อต่อ ส่วนไหล่ ปลาร้า และต้น แขน	ข้อต่อ แขน ท่อนบน และแขน ท่อนล่าง และ ข้อมือ	ข้อต่ออก เอว และ ข้อต่อ เชิงกราน	ขาท่อน บนและ ขาท่อน ล่าง	ข้อต่อข้อ เท้าและ ปลาย นิ้วเท้า	ข้อต่อใน ส่วนนิ้ว มือ
1. Cyclops	1	2	4	2	8	2	9
2. TED SYDOR	2	4	8	2	6	4	10
3. Tom Brierton	2	2	6	2	6	4	30
4. Tetsu Kawamura	2	2	6	2	4	2	0
5. Animation Toolkit	2	4	8	2	4	4	10
6. Armatures Creature Kit	2	4	8	2	4	4	2
7.stickfas	1	2	6	1	4	2	0
8. ModiBot Mo	1	2	4	1	4	2	0
9. Stickybones	2	2	4	2	4	6	18
10. Armature Nine	2	4	6	2	10	4	28

ชื่อ	ข้อต่อ	ข้อต่อ	ข้อต่อ	ข้อต่ออก	ขาท่อน	ข้อต่อข้อ	ข้อต่อใน
Armature	ส่วนคอ และ หัว	ส่วนไหล่ ปลาร้า และต้น แขน	แขน ท่อนบน และแขน ท่อนล่าง และ ข้อมือ	เอว และ ข้อต่อ เชิงกราน	บนและ ขาท่อน ล่าง	เท้าและ ปลาย นิ้วเท้า	ส่วนนิ้ว มือ
11. Gemobot	1	2	4	2	4	4	0
12. Skelly The Skeleton	1	2	2	1	2	2	0
ข้อต่อที่ใช้ มากที่สุด	2	2	4 และ 6	2	4	4	0

จากตารางข้างต้น ได้ผลสรุปในการใช้ข้อต่อส่วนต่างๆ โดยเลือกจาก สัตว์ส่วนที่ใช้มากที่สุด เป็นหลัก แต่ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำหลักการออกแบบอย่างมีขั้นตอนและการ Delphi ครั้งที่ 1 คือการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้าง มาเป็นส่วนประกอบในการอ้างอิงจำนวนของข้อต่อด้วย จึงได้สัตว์ที่ลงตัวในการออกแบบหุ่นโครงสร้าง ต้นแบบในการวิจัยในครั้งนี้ ดังต่อไปนี้

1 ข้อต่อส่วนคอ และ หัว	2	จุด
2 ข้อต่อส่วนไหล่ปลาร้าและต้นแขน	4	จุด
3 ข้อต่อแขนท่อนบนและแขนท่อนล่างและข้อมือ	8	จุด
4 ข้อต่ออก เอว และ ข้อต่อเชิงกราน	3	จุด
5 ขาท่อนบนและขาท่อนล่าง	6	จุด
6 ข้อต่อข้อเท้าและปลายนิ้วเท้า	4	จุด
7 ข้อต่อในส่วนนิ้วมือ	0	จุด

สรุปผลได้ว่า ข้อต่อหุ่น Armature ที่ใช้ในการสร้างสรรค์สตอปโมชันแอนิเมชัน มีรวมกันทั้งหมด 27 จุด ซึ่งเป็นข้อต่อที่จำเป็นต่อการออกแบบหุ่นโครงสร้าง

ข้อต่อในส่วนนิ้วมือใช้รูปแบบที่มีลักษณะเจาะรู 10 รู เพื่อใช้ลวดหุ้มด้วยผ้าหรือซิลิโคนแทน เพื่อง่ายต่อการตัดโค้งและง่ายต่อการผลิต

ผลการวิเคราะห์หุ่นโครงสร้าง Armature

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครสตอปโมชั่นแอนิเมชัน นี้ ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าหุ่นโครงสร้าง จากภาพยนตร์สตอปโมชั่นแอนิเมชัน จำนวน 10 เรื่อง ได้แก่

1. Wallace and Gromit 1989 พ.ศ. 2532
2. The Nightmare Before Christmas ปี ค.ศ. 1993 พ.ศ. 2536
3. Corpse Bride ปี ค.ศ. 2005
4. Coraline ปี ค.ศ. 2009 ปี พ.ศ. 2552
5. ParaNorman ปี ค.ศ. 2012 พ.ศ.2555
6. The boxtrolls ปี ค.ศ. 2014 พ.ศ.2557
7. Kubo And The Two Strings ปี ค.ศ. 2016 พ.ศ.2559
8. Early Man ปี ค.ศ. 2017 พ.ศ.2560
9. ISLE OF DOGS ปี ค.ศ. 2018 พ.ศ.2561
10. Missing Link ปี ค.ศ. 2019 พ.ศ.2562

และหุ่นโครงสร้างที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรมจำนวน 12 รูปแบบ ได้แก่

1. โครงหุ่น Cyclops ของ Ray Harryhausen ปี 1957 ตรงกับปี พ.ศ. 2500
2. โครงหุ่น Armature ของ TED SYDOR
3. โครงหุ่น Armature ของ Tom Brierton ปี พ.ศ. 2545
4. โครงหุ่นโครงหุ่น Armature ของ Tetsu Kawamura ปี พ.ศ. 2562
5. โครงหุ่น Armature ของ Animation Toolkit ปี พ.ศ. 2562
6. โครงหุ่น Armatures Creature Kit ของ บริษัท Aardman ปี พ.ศ.2562
7. โครงหุ่น stickfas ปี พ.ศ. 2545-2562
8. โครงหุ่น ModiBot Mo ปี พ.ศ. 2562
9. โครงหุ่น Stickybones ปี พ.ศ. 2562
10. โครงหุ่น Armature Nine (หรือ A9-RIG) ปี พ.ศ. 2555 -2562
11. โครงหุ่น Gemobot ปี พ.ศ. 2015-2017
12. โครงหุ่น Skelly The Skeleton ปี พ.ศ. 2562

ในการผลิตตัวละครสำหรับ Stop motion นั้น มีขั้นตอนที่ซับซ้อนมากมาย นอกเหนือจากโครงArmature ที่อยู่ภายในตัวหุ่นแล้ว ยังมีส่วนประกอบด้านวัสดุที่ใช้ทำผิวหนัง ขน หรือแม้กระทั่ง

เสื้อผ้า เป็นการสร้างสรรค์โมเดลที่มีความละเอียดมาก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวละครในภาพยนตร์สต็อปโมชันและได้จำแนกสัดส่วนของการออกแบบตัวละคร เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ให้ได้ตามวัตถุประสงค์ โดยมีเนื้อหาการสืบค้นข้อมูลดังนี้

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของตัวละคร

สัดส่วนตัวละครแอนิเมชัน หรือ สัดส่วนตัวการ์ตูนนั้น มีความแตกต่างจากสัดส่วนของมนุษย์ปกติ ตัวละครจะถูกดัดแปลงให้ย่อลงมาจากสัดส่วนมนุษย์ หรือ ดัดแปลงให้ผิดไปจากวัย และอายุของตัวละคร ยกตัวอย่างเช่น วิทยกลางคน สามารถออกแบบให้มีสัดส่วน 2 ส่วน ถึง 3 ส่วนได้ โดยทำให้หัวขา และมือ มีขนาดใหญ่กว่าปกติ ซึ่งสัดส่วนผิดเพี้ยนเหล่านี้ทำให้ตัวละคร มีเสน่ห์ น่ารัก และทำให้ผู้ชมเกิดความรู้สึกชื่นชอบในการ์ตูนเรื่องนั้น (อนัน วาโอะ, 2561)

ตาราง 7 แสดงสรุปสัดส่วนของหุ่น Armature

สัดส่วนของตัวละคร	2 ส่วน	3 ส่วน	4 ส่วน	5 ส่วน	6 ส่วน	7 ส่วนครึ่ง	8 ส่วน
หุ่น Armature ในตัวละครสต็อปโมชัน 10 เรื่อง	-	1	3	3	1	-	2
หุ่น Armature ในระบบอุตสาหกรรม 12 ตัว	-	-	1	-	1	10	-

จากตารางข้างต้นพบว่าสัดส่วนของตัวละครสต็อปโมชันแอนิเมชันนั้นมีตั้งแต่ 3 ส่วน ขึ้นไปถึง 8 ส่วน โดยส่วนมากออกแบบให้มีสัดส่วน 4-5 ส่วน ตามรูปแบบที่เรื่องราวกำหนดซึ่ง บางเรื่องมีตัวละครหลายสัดส่วนผสมผสานกัน ส่วนหุ่นโครงสร้างที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรมนั้น อ้างอิงจากสัดส่วนมาตรฐานของมนุษย์ประมาณ 7 ส่วนครึ่งทั้งหมดเพื่อให้เป็นมาตรฐานในการผลิตจำนวนมากนั่นเอง



ภาพ 136 เปรียบเทียบลักษณะของชายวัยกลางคนในแต่ละสัดส่วนที่แตกต่างกัน

ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563

ผู้วิจัยกำหนดให้ความสูงของมนุษย์ชาวอาเซียนมีค่าเฉลี่ยประมาณประมาณ 153 cm หรือ 7 ส่วนครึ่ง (ASEAN DNA .2014) คิดเป็น สัดส่วน 1 : 1 เทา สัดส่วนความสูงของหุ่นโครงสร้าง Armature ขนาด 7 ส่วนครึ่ง คิดเป็นความสูง 20 cm ดังนั้น สัดส่วนของหุ่นโครงสร้าง Armature จึงมีอัตราส่วนเท่ากับ เทากับ 1 : 8 เทา ของส่วนสูงมนุษย์

ผลการวิเคราะห์รูปแบบหุ่นโครงสร้างจากภาพยนตร์สต็อปโมชันแอนิเมชัน

ตัวละครสต็อปโมชันเป็นตัวละครที่ผลิตขึ้นด้วยฝีมือของศิลปินมีลักษณะคล้ายกับ Figure หุ่นที่นักสะสมของเล่นหลงใหล ซึ่งเป็นตัวละครที่จับต้องได้แต่มีข้อแตกต่างกันที่ตัวละครสต็อปโมชันจะมีโครงสร้าง Armature อยู่ภายในจึงสามารถเคลื่อนไหวในโลกภาพยนตร์ได้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้าง Armature เฉพาะตัวละครเอก ในภาพยนตร์สต็อปโมชัน จำนวน 10 เรื่อง โดยจำแนกการศึกษาดังต่อไปนี้

- ข้อมูลเบื้องต้นของตัวละครสต็อปโมชัน
- ด้านสัดส่วนตัวละครและการตัดทอนโครงสร้างกระดูก
- วัสดุที่ใช้ในการทำ Armature

จากการศึกษาข้อมูลข้างต้น ได้ผลสรุปเกี่ยวกับตัวละครสต็อปโมชันดังนี้

1. Wallace and Gromit 1989 พ.ศ. 2532 มีขนาดสัดส่วน 5 ส่วน วัสดุที่ใช้ในการทำ Armature คืออะลูมิเนียมและโลหะ

2. The Nightmare Before Christmas ปี ค.ศ. 1993 พ.ศ. 2536 มีขนาดสัดส่วน 8 ส่วน วัสดุที่ใช้ในการทำ Armature คืออะลูมิเนียมและโลหะ
3. Corpse Bride ปี ค.ศ. 2005 2536 มีขนาดสัดส่วน 6 ส่วน วัสดุที่ใช้ในการทำ Armature คืออะลูมิเนียมและโลหะ
4. Coraline ปี ค.ศ. 2009 ปี พ.ศ. 2552 2536 มีขนาดสัดส่วน 4 ส่วน วัสดุที่ใช้ในการทำ Armature คืออะลูมิเนียมและโลหะ
5. ParaNorman ปี ค.ศ. 2012 พ.ศ.2555 2536 มีขนาดสัดส่วน 3 ส่วน วัสดุที่ใช้ในการทำ Armature คืออะลูมิเนียมและโลหะ
6. The boxtrolls ปี ค.ศ. 2014 พ.ศ.2557 2536 มีขนาดสัดส่วน 5 ส่วน วัสดุที่ใช้ในการทำ Armature คืออะลูมิเนียมและโลหะ
7. Kubo And The Two Strings ปี ค.ศ. 2016 พ.ศ.2559 2536 มีขนาดสัดส่วน 4 ส่วน วัสดุที่ใช้ในการทำ Armature คืออะลูมิเนียมและโลหะ
8. Early Man ปี ค.ศ. 2017 พ.ศ.2560 2536 มีขนาดสัดส่วน 4 ส่วน วัสดุที่ใช้ในการทำ Armature คืออะลูมิเนียมและโลหะ
9. ISLE OF DOGS ปี ค.ศ. 2018 พ.ศ.2561 2536 มีขนาดสัดส่วน 5 ส่วน วัสดุที่ใช้ในการทำ Armature คืออะลูมิเนียมและโลหะ
10. Missing Link ปี ค.ศ. 2019 พ.ศ.2562 2536 มีขนาดสัดส่วน 8 ส่วน วัสดุที่ใช้ในการทำ Armature คืออะลูมิเนียมและโลหะ หุ้มด้วยซิลิโคน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลหุ่นโครงสร้างที่ผลิตขายในรูปแบบอุตสาหกรรม

หุ่น Armature นอกจากจะนำไปใช้ในการผลิตตัวละครสำหรับภาพยนตร์สตั๊มป์ขึ้นแล้ว ยังมีการพัฒนาและผลิตให้ประชาชนทั่วไป สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาตัวอย่างโครง Armature ที่ผลิตอยู่ในท้องตลาดตั้งแต่ อดีต จนถึงยุคปัจจุบัน โดยจำแนกเป็นขั้นตอน ดังนี้

- ประวัติและการพัฒนาหุ่น Armature
- การแบ่งประเภทของ Armature ตามรูปแบบการใช้งาน
- วิเคราะห์การออกแบบ รูปร่าง รูปทรง การประกอบโครงสร้าง Armature
- วิเคราะห์วัสดุที่ใช้

เมื่อทำการศึกษาแล้วพบว่า Atmature ที่ผลิตขายในท้องตลาด แบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ

คือ



กลุ่มที่ 1 ออกแบบโครงสร้างภายใน ต้องใช้กับวัสดุหุ้มเท่านั้นจึงจะสามารถสร้างเป็นแอนิเมชันสต๊อปโมชันได้

กลุ่มที่ 2 ออกแบบให้ใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้วัสดุหุ้มมาหุ้มโครงสร้าง แต่จะใช้วิธีต่อประกอบเข้ากับชุดอุปกรณ์เสริมแทน หรือผู้ซื้อไปใช้งานสามารถประยุกต์ใช้ได้เอง สามารถพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ได้ ซึ่งง่ายต่อการถอดและประกอบ

ตาราง 8 แสดงสรุปการวิเคราะห์วัสดุและข้อดี ข้อเสีย ของหุ่น Armature จำนวน 12 แบบ กลุ่มที่ 1

Armature กลุ่มที่ 1	ลักษณะ รูปทรง	วัสดุที่ใช้	จุดเด่น	จุดด้อย
2.4.1 หุ่น Cyclops ของ Ray Harryhausen ปี 1957 ที่มา: มูลนิธิ Ray และ Diana Harryhausen ถ่ายรูบโดย Andy Johnson		ผลิตจาก เหล็กบัดกรี และข้อต่อส่วนต่างๆ ของร่างกาย ประกอบด้วยลูก เหล็ก ส่วนหัวทำจากการ หล่อเรซิน	วัสดุที่ใช้มี ความ แข็งแรง ทนทาน	โครงสร้าง เฉพาะเจาะจง สร้างเพื่อ ตัวละครตัว เดียวเท่านั้น
2.4.2 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ TED SYDOR เมื่อครั้งยัง เป็นนักศึกษา Middlesex County College, นิวเจอร์ซีย์ ในปี 1991 ที่มา : Ted Sydor http://trikfx.com/ armatures,1991		ผลิตจาก พลาสติก และไม้ สูงประมาณ 10 นิ้ว ใช้น็อตในการ ยึดชิ้นส่วนเข้าหากัน มีการใช้พลาสติก ชนิดหัวบอล	โครงสร้าง ประกอบ ง่ายด้วยมือ	แผ่น พลาสติก ตามข้อ มี การบิดงอได้ ง่าย หัวบอลเป็น พลาสติก ทำ ให้การหมุน ข้อต่อมีแรง เสียดทาน มาก

Armature กลุ่มที่ 1	ลักษณะ รูปทรง	วัสดุที่ใช้	จุดเด่น	จุดด้อย
2.4.3 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tom Brierton ที่มา : Tom Brierton, Stop motion magazine, หน้า 13		ผลิตจาก โลหะหลาย ชนิด เช่น อลูมิเนียม, เหล็ก และวัสดุที่ใช้ สร้างยานอวกาศ ซึ่ง เป็น วัสดุที่มีน้ำหนักเบา และมีความทนทาน ยืดหยุ่นสูง มีความเบามากกว่า อลูมิเนียมราว 50% (Tomorn Sookprecha Jul 12, 2018)	วัสดุที่ใช้มี ความ แข็งแรง ทนทาน	โครงสร้าง เฉพาะเจาะจง ประกอบ ยาก ต้องใช้ เครื่องมือใน การตัดให้ได้ ขนาด และ ประกอบให้ ตรงตาม แบบ
2.4.4. หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Tetsu Kawamura ที่มา : StopMate series SM-004D รุ่น ปี 2018 Tetsu Kawamura. 2018. www.modelanima tion.com		โครงสร้างหลักเป็น อลูมิเนียม ตัวเข้าหรือsocket นั้นทำจากแผ่น บรอนซ์ฟอสเฟอรัซ สี(phosphor bronze plate) หัว บอลทำจากลูกเหล็ก ธรรมดาชนิดกันสนิม	วัสดุที่ใช้มี ความ แข็งแรง ทนทาน	โครงสร้าง เฉพาะเจาะจง ประกอบ ยาก ต้องใช้ เครื่องมือใน การตัดให้ได้ ขนาด และ ประกอบให้ ตรงตาม แบบ

Armature กลุ่มที่ 1	ลักษณะ รูปทรง	วัสดุที่ใช้	จุดเด่น	จุดด้อย
2.4.5 หุ่นโครงสร้าง Armature ของ Animation Toolkit ที่มา : Animation Toolkit : motion magazine. หน้า 50		สแตนเลสขัดเงา มีข้อ ต่อ 24 จุด, หลายจุด ออกแบบตามหลัก มานุษยวิทยา โครงสร้างกล้ามเนื้อ พิมพ์ด้วยระบบ 3 มิติ	โครงสร้าง ภายในเป็นส แตนเลสขัด เงา มีความ แข็งแรง ทนทาน	โครงสร้าง เฉพาะเจาะจ ง ประกอบ ยาก ต้องใช้ เครื่องมือใน การตัดให้ได้ ขนาด และ ต้องใช้ระยะ เวลานานจึง จะประกอบ เสร็จ
2.4.6 หุ่นโครงสร้าง Armatures Creature Kit ของ Aardman ที่มา : Aardman Armatures Creature Kit ;www.animatio n toolkit.co.uk/aard man-armatures- creature-kit		ผลิตจาก สแตนเลส มากกว่า 100 ชิ้น ข้อต่อเหล็กกล้าไร้ สนิม 20 อัน หัว บอลสแตนเลสชุบ แข็งและสกรูหัวซ็อก เก็ต มีแม่เหล็กฝังอยู่ ที่ปลายเท้า	วัสดุที่ใช้มี ความ แข็งแรง ทนทาน น้ำหนักเบา	โครงสร้าง เฉพาะเจาะจ ง ประกอบ ยาก ต้องใช้ เครื่องมือใน การตัดให้ได้ ขนาด และ ต้องใช้ระยะ เวลานานจึง จะประกอบ เสร็จ

ตาราง 9 แสดงสรุปการวิเคราะห์วัสดุและข้อดี ข้อเสีย ของหุ่น Armature จำนวน 12 แบบ
กลุ่มที่ 2

Armature กลุ่มที่ 2	ลักษณะ รูปทรง	วัสดุที่ใช้	จุดเด่น	จุดด้อย
2.4.7 หุ่น โครงสร้าง Stikfas ที่มา : ภาพถ่าย หุ่น Armature Stikfas ; นิภัสรา บุรีเพ็ญ, 2563		สร้างจากพลาสติกชนิด แข็ง ที่ผลิตจากโรงงาน อุตสาหกรรมของ Hasbro มีพลาสพลาสติกที่ แกะออกได้ง่าย สามารถถอดเปลี่ยนได้	STIKFAS มีข้อ ต่อทั้งหมดเป็น บอล และ ซ็อกเก็ต ที่แกะ ออกง่ายและติด แน่นไม่หลุดง่าย	- การขยับ ท่าทางทำได้ ไม่ดีนัก เนื่องจากซ็อกเก็ต รองรับการ งอได้ด้าน เดียว -ข้อต่อ และพับได้ ไม่เต็มที่ เช่น การพับ ของหัวเข้า ทำได้เพียง 30-45 องศา -ไม่มีข้อต่อ ไหลปลาร้า และข้อต่อ นิ้วมือ
2.4.8 หุ่น โครงสร้าง modibot		สร้างจากการพิมพ์ สาม มิติ ซึ่งสามารถใช้เส้น พลาสติกหลากหลาย รูปแบบ อาทิ PLA, ABS,	สามารถเลือกใช้ วัสดุในการพิมพ์ 3 มิติ ได้ หลากหลาย	-การขยับ ท่าทางทำได้ ไม่ดีนัก เนื่องจากซ็อกเก็ต รองรับการ งอได้ด้าน เดียว

ที่มา :ภาพถ่าย หุ่นArmature ModiBot Mo พิมพ์ด้วยระบบ SLA และใช้เร ซิ่น ; นิภัสรา บุรี เพ็ญ, 2563	รวมไปถึงการพิมพ์ด้วย Resin	รองรับการ งอได้ด้าน เดียว -ข้อต่องอ และพับได้ ไม่เต็มที่ เช่น การพับ ของหัวเข้า ทำได้เพียง 60-90 องศา -ไม่มีข้อต่อ ไทป์ลาร้า และข้อต่อ นิ้วมือ		
2.4.9 หุ่น โครงสร้าง Stickybones ที่มา : ภาพจาก วีดีโอ https://vimeo.com/1521416 43 หุ่น โครงสร้าง stickybones		สร้างจากโปรแกรม 3 มิติ และสั่งพิมพ์ด้วย เครื่องพิมพ์เรซิน จากนั้น นำมาเจียรให้ผิวเรียบ ทาสีและเรเซอร์ให้สีติด แน่นและทนทานขึ้น	สามารถกำหนด ทำทางได้ หลากหลาย งอเข้าและพับ แขนได้มากถึง 10-15 องศา	-โครงสร้าง ของมวลมี ขนาดเท่า สัตว์ส่วน มนุษย์ ซึ่ง ถูก กำหนดให้มี รูปลักษณ์ ตายตัว ไม่ เปลี่ยนได้ -มือและเท้า ใหญ่เกิน สรีระจริง ของมนุษย์

<p>2.4.10 หุ่น โครงสร้าง Armature Nine (A9-RIG)</p> <p>ที่มา :ภาพ 3 มิติ Armature Nine (A9); 09 ก.ย. 2562 https://armaturine.com</p>		<p>พื้นผิว ได้ผสมผสาน หลากหลายวัสดุ เช่น ไม้ สังเคราะห์ (Wood composite) และผลิต จากการพิมพ์สาม มิติด้วย พลาสติก ABS และจุดเชื่อมต่อส่วนต่างๆ พิมพ์สามมิติแบบ เรซิน</p>	<p>สัดส่วนข้อต่อ ส่วนใหญ่เป็น boll joint และ Socket ยกเว้น ส่วนหัวเข้า มี การใช้รีดเสริม ความ แข็งแรง -สรีระคล้าย มนุษย์ -ข้อต่อบริเวณนิ้ว มือมีครบทุกจุด</p>	<p>ข้อต่อมีมาก เกินความ จำเป็น ข้อต่อ บริเวณไห ปลาร้า และ โคนขา มี ขนาดใหญ่ เกินไป เคลื่อนไหว ไม่สะดวก นัก</p>
<p>2.4.11 หุ่น โครงสร้าง Gemobot</p> <p>ที่มา :ภาพ 3 มิติ หุ่นโครงสร้าง Gemobot; 09 ก.ย.2562- facebook fanpage ชื่อ nattotoys</p>		<p>พื้นผิวพิมพ์ด้วยพลาสติก ABS ข้อต่อส่วนต่างๆ เป็น หัวบอล ทำด้วย เหล็ก และมือ มีความ ยืดหยุ่นผลิตจาก Flexible Plastic ซึ่ง เป็นวัสดุหนึ่งของการ พิมพ์สามมิติ</p>	<p>การเคลื่อนไหว ของหัวบอล เหล็ก และ Socket พลาสติก สามารถ เคลื่อนไหวได้ดี มีแรงเฉื่อย กระทำต่อ พลาสติก ABS</p>	<p>-การพับงอ ของหัวเข้า และศอก ทำได้น้อย มาก สามารถพับ ได้ต่ำสุด เพียง 45 องศา -ลำตัวโค้ง งอไม่ได้ เนื่องจาก เป็น สี่เหลี่ยม ซึ่ง มีมุม ทำให้ งอตัวไม่ได้</p>

2.4.12. หุ่น โครงสร้าง Skelly The Skeleton		สร้างจากการพิมพ์ สาม มิติ ซึ่งสามารถใช้เส้น พลาสติกหลากหลาย รูปแบบ อาทิ PLA, ABS, รวมไปถึงการพิมพ์ด้วย Resin	สามารถเลือกใช้ วัสดุในการพิมพ์ 3 มิติ ได้ หลากหลาย	-ไม่มีกระดูก ไหลลาร้า และส่วนคอ ติดกับลำตัว ไม่สามารถ งอได้ -กระดูกแข็ง กรานมีพื้นที่ แคบเกินไป ทำให้ Socket หมุนส่วนขา ไม่ได้ -ไม่มีข้อต่อ นิ้วมือ
---	---	---	---	---

จากตารางภาพข้างต้น ผู้วิจัยได้สร้างตารางเปรียบเทียบเพื่อหาข้อแตกต่างของหุ่นโครงสร้าง Armature โดยสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ผลการวิจัยวัสดุที่ใช้ในการผลิตหุ่นโครงสร้าง Armature

ตาราง 10 แสดงสรุปวัสดุที่ใช้สร้างหุ่น Armature ที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรม

วัสดุ (โดย 1 ตัวมี หลากหลาย วัสดุ)	อะลูมิเนียม	เหล็ก	สแตนเลส	บอร์นฟอสเฟส	พลาสติก	วัสดุพิมพ์ สามมิติ	วัสดุพิมพ์ สามมิติ	ไม้
หุ่น Armature ในตัวละคร สตீปโมชัน 10 เรื่อง	10	10				ชนิดเรซิน		

วัสดุ (โดย 1 ตัวมี หลากหลาย วัสดุ)	อะลูมิเนียม	เหล็ก	สแตนเลส	บอร์น ฟอสเฟส	พลาสติก	วัสดุ พิมพ์	วัสดุ พิมพ์	ไม้
หุ่นArmature ในระบบ อุตสาหกรรม 12 ตัว	2	3	1	1	2	2	6	1

จากตารางข้างต้นพบว่าหุ่นโครงสร้างจากภาพยนตร์สตอปโมชันนั้นมีการใช้วัสดุที่เหมือนกันคือ อะลูมิเนียมและเหล็ก ซึ่งให้ความแข็งแรงทนทานในการสร้างผลงานสตอปโมชัน ซึ่งในการผลิตในระบบภาพยนตร์นั้นมีการใช้งานเป็นเวลานาน และใช้การเคลื่อนไหวที่แม่นยำโดยการขยับทีละเล็กละน้อยแต่มีจำนวนนับล้านครั้ง ซึ่งจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ดีและมีคุณภาพนั่นเอง ซึ่งต่างจากหุ่นโครงสร้างที่ผลิตขายในระบบอุตสาหกรรม ส่วนมากจะผลิตขึ้นจากการพิมพ์สามมิติ ด้วยวัสดุที่หลากหลาย อาทิ เส้นพลาสติก ABS เส้นพลาสติกชนิดยืดหยุ่น และเรซิน เป็นต้น รองลงมาคือใช้เหล็กเป็นส่วนประกอบ จะพบมากในหัวบอลที่ใช้เป็นข้อต่อส่วนต่างๆของหุ่น และอะลูมิเนียมซึ่งเป็นที่นิยมเช่นกัน การฉีดพลาสติกเพื่อผลิตยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากข้อจำกัดในการออกแบบ

ผลการวิเคราะห์จุดเด่นและจุดด้อยในการเคลื่อนไหวของหุ่นโครงสร้าง Armature จากภาพยนตร์ 10 แบบ และ จากระบบอุตสาหกรรม 12 แบบ

จุดเด่นและจุดด้อยของหุ่นโครงสร้าง Armature ในแต่ละชนิดนั้นผู้วิจัยได้วิเคราะห์จากการสังเกตการณ์เคลื่อนไหวของตัวละครด้วยการดูภาพยนตร์สตอปโมชันแอนิเมชันและวีดีโอ presentation ของหุ่นโครงสร้างแต่ละประเภท นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาจากของจริง 1 ประเภท คือโครงหุ่น stickfas จากประเทศสิงคโปร์และได้ผลิตเลียนแบบหุ่นโครงสร้างจำนวน 5 ประเภท ได้แก่ 1. โครงหุ่น ModiBot Mo 2. โครงหุ่น Stickybones 3. โครงหุ่น Armature Nine (หรือ A9-RIG) 4. โครงหุ่น Gemobot และ 5. โครงหุ่น Skelly The Skeleton :ซึ่งสามารถจำแนกข้อแตกต่างได้ดังนี้

ตาราง 11 แสดงสรุปจุดเด่นและจุดด้อยของหุ่น Armature



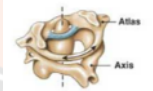





หุ่นโครงสร้าง Armature	จำนวน (ตัว)	จุดเด่น	จุดด้อย
วิเคราะห์หุ่นโครงสร้าง จากการสังเกตใน ภาพยนตร์และใน ระบบอุตสาหกรรม	22	เคลื่อนไหวได้ดี สรีระของมนุษย์ถึงแม้จะมี สัดส่วนที่แตกต่างกันตามการ ออกแบบ	ผลิตเฉพาะเจาะจงกับตัว ละคร ไม่สามารถ ปรับเปลี่ยนได้
วิเคราะห์หุ่นโครงสร้าง จากของจริง	1	ประกอบง่าย หัวบอลและเป้า รับเคลื่อนไหวได้ดี	1. ข้อต่อไม่ครบทุกส่วน เช่น ขาดข้อต่อหัวไหล่ ข้อ ต่อสะบัก และ กระดูกสัน หลัง 2. โครงสร้างหนาไม่ สามารถหุ้มวัสดุอื่นๆได้
วิเคราะห์หุ่นโครงสร้าง จากการผลิตเลียนแบบ ของจริง	5	1. ผลิตขึ้นได้ด้วยการพิมพ์สาม มิติ 2. โครงหุ่น A9 สามารถนำมา ห่อหุ้มด้วยวัสดุอื่นได้ เช่น ดิน เหนียว และโครงหุ่นสามารถ ปรับเปลี่ยนเป็นคน สัตว์ ประหลาด และสัตว์ต่างๆได้ 3. โครงหุ่น Modibot มีรูตาม ข้อต่อต่างๆสามารถใส่ชุด เกราะเสริมได้ 4. โครงหุ่น Stickybones มี แม่เหล็กติดที่มือและเท้า สามารถยึดเกาะได้	1. ข้อต่อไม่ครบทุกส่วน เช่น ขาดข้อต่อหัวไหล่ ข้อ ต่อสะบัก และ กระดูกสัน หลัง 2. ไม่สามารถยึดหรือปรับ ขนาดได้ 3. การออกแบบและเข้ายังมี องศาที่มาก ไม่สามารถงอ ได้ตามสรีระของมนุษย์

ผลการศึกษาด้านจลนศาสตร์และการเคลื่อนไหวข้อต่อมนุษย์

จากการศึกษาผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือสรุปผลเป็นตารางเพื่อค้นหาวัสดุที่ใช้เป็นข้อต่อทดแทนกระดูกจริง เนื่องจากกระดูกข้อต่อมนุษย์ถูกยึดด้วยกล้ามเนื้อ และพังผืดมากมาย ทำให้กระดูกข้อต่อ

หมุนได้ โดยที่ไม่หลุด ดังนั้นการค้นหาด้วยหลักการของ Kinematic เพื่อทดสอบการเคลื่อนไหวของ Armature จึงได้ค้นหาสิ่งที่คล้ายคลึงกัน มาวิเคราะห์เพื่อการออกแบบที่เหมาะสม ดังนี้

ตาราง 12 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างการเคลื่อนไหวเปรียบเทียบกับชิ้นส่วน Joint ในรูปแบบต่าง ๆ

ชื่อข้อต่อ	รูปตัวอย่างข้อ	ลักษณะของการเคลื่อนไหว	ตัวอย่าง ข้อต่อที่ใกล้เคียง	ข้อมูลและแหล่งที่มา
กระดูกมนุษย์เฉพาะแบบที่เคลื่อนที่ได้	ต่อกระดูกมนุษย์ที่เคลื่อนที่ได้	มีลักษณะเอียงไปด้านข้าง ก้มมาข้างหน้า หรือแอ่นไปด้านหลังได้ มีลักษณะโค้งไปได้ทุกทิศทาง		1. หนังสือกายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ 2. ภาพ 3D Printed Modular Ball and Socket Joints www.instructables.com
1. Slightly Movable Joints ข้อต่อกระดูกสันหลังเคลื่อนไหวได้เล็กน้อย				
2. Pivot Joints ข้อต่อแบบวงแหวน	 กระดูกส่วนคอ	มีลักษณะเป็นข้อต่อที่กระดูกชิ้นหนึ่งหมุนสวมอยู่ในวงของกระดูกอีกอันหนึ่ง ในรัศมี รอบตัว		1. Pearson Education Inc, (2011) 2. Manfrotto XPRO Magnesium Ball Head with 200PL-14 Quick Release Plate
3. Saddle Joints ข้อต่อแบบอานม้า		มีกระดูกชิ้นหนึ่งเว้าแบบอานม้า มาสวมกับกระดูกอีกชิ้นหนึ่ง เคลื่อนไหวได้ 4 ทิศ		1. Pearson Education Inc, (2011) 2. Universal Joint ที่มา www.amazon.com
4. Plane Joint ข้อต่อแบบหน้าแบน		มีลักษณะของกระดูกหน้าแบน มาพบกัน		1. หนังสือกายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ

ชื่อข้อต่อ	รูปตัวอย่างข้อ	ลักษณะของการ	ตัวอย่าง ข้อ	ข้อมูลและแหล่งที่มา
กระดูกมนุษย์ เฉพาะแบบที่ เคลื่อนที่ได้	ต่อกระดูก มนุษย์ที่ เคลื่อนที่ได้	เคลื่อนไหว	ข้อ ที่ ใกล้เคียง	
		เคลื่อนไหวชนิด ถู-เลื่อน ไป-มา เช่น ไหล่ปลาร้า		2. Aardman Armatures Creature Kit (2018)
5. Condylod Joints ข้อต่อ แบบปุ่มกลม		มีลักษณะ เคลื่อนไหว เชิงมุมทั้งสอง แกนเช่น ในข้อ ต่อของข้อมือ และนิ้วซึ่ง สามารถขยับทั้ง สองด้านไป ด้านข้างและขึ้น และลงได้		1. ที่มา : courses. lumenlearning.com 2. Universal Joint ที่มา www.amazon.com
7. Ball and Socket ข้อต่อแบบเบ้า กลม		มีลักษณะด้าน หนึ่งเป็นหัวกลม อีกด้านเป็นเบ้า Socket สามารถหมุนได้ รอบทิศทาง เช่น หัวไหล่		1. Pearson Education Inc, (2011) 2. Manfrotto XPRO Magnesium Ball Head with 200PL-14 Quick Release Plate

ผลการศึกษาด้านกฎการเคลื่อนไหวตัวละครแอนิเมชัน 12 ข้อ

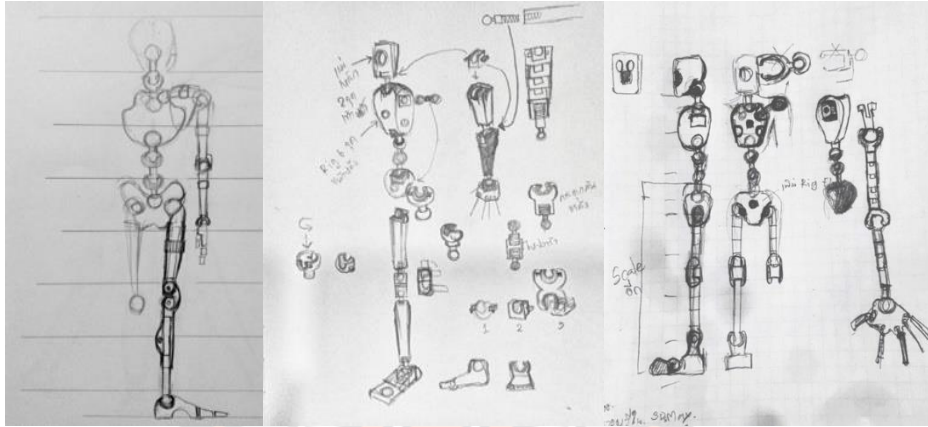
เคลื่อนไหวของแอนิเมชัน ทั้ง 12 ข้อ (Thomas, F., & Johnston, O., 1981) สามารถวางแผนการทำสตอปโมชันแอนิเมชันได้ตามท่าทางดังต่อไปนี้

- Squash and Stretch คือการยืดและการหดตัว ใช้ท่าทางการย่อตัว และกระโดดไปข้างหน้า สัตว์ส่วนที่ใช้คือ หุ่นโครงสร้างขนาด 6 ส่วน

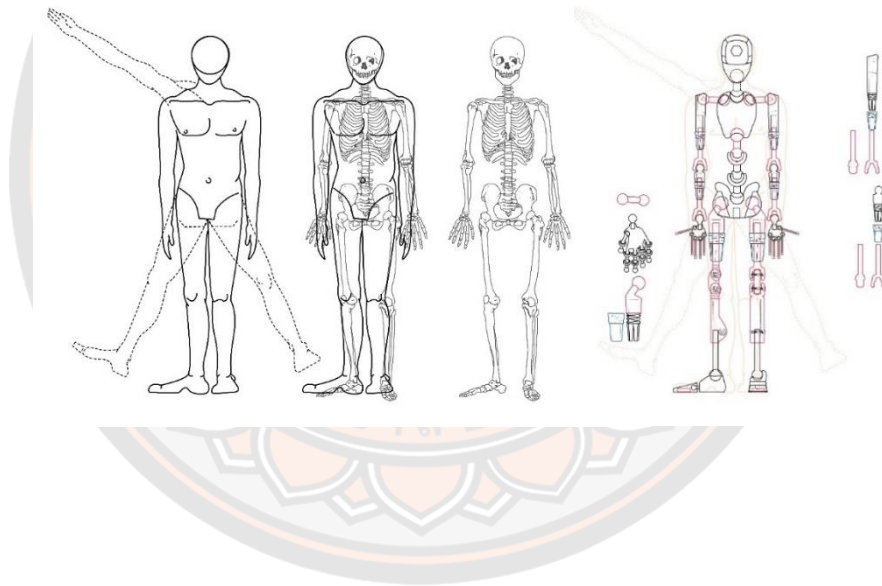
- Anticipation คือ การทำท่าเตรียม ใช้ท่าทางการยื่นตะ โดยทำท่าทางเตรียมก่อนที่จะตะออกไป สัดส่วนที่ใช้คือ หุ่นโครงสร้างขนาด 7 ส่วนครึ่ง
- Staging คือ การลำดับเหตุการณ์ก่อนและหลัง โดยเหตุการณ์แรกคือตัวละคร 2 ตัวกำลังต่อสู้กัน ถัดมาคือ กองเชียร์โห่ร้องดีใจ สัดส่วนที่ใช้คือ หุ่นโครงสร้างขนาด 7 ส่วนครึ่ง
- Straight Ahead Action and Pose to Pose คือการขยับท่าทางไปเรื่อย ๆ และการกำหนดท่าทางเอาไว้ล่วงหน้า โดยท่าทางที่ใช้คือการขยับตัวไปเรื่อย ๆ กับการทำท่าทางกระโดด สัดส่วนที่ใช้คือ 7 ส่วนครึ่งและ 6 ส่วน
- Follow Through and Overlapping Action คือการเคลื่อนที่ตามวัตถุหลักและ ทับซ้อนกับการเคลื่อนที่หลัก โดย ไม่หยุดพร้อมกัน ท่าทางที่ใช้คือการยื่นเปลี่ยนตำแหน่ง กระทั่งหันทำให้แขนและขาเคลื่อนที่ช้ากว่าลำตัว สัดส่วนที่ใช้คือ 6 ส่วน
- Slow In and Slow Out คือการเคลื่อนที่แบบค่อย ๆ เริ่มและค่อย ๆ หยุด ท่าที่ใช้คือการย้ายตัวเองจากซ้ายไปขวา สัดส่วนที่ใช้คือ 7 ส่วนครึ่ง
- Arcs คือการเคลื่อนไหวให้เป็นวิถีโค้ง ท่าทางที่ใช้คือการต่อสู้ที่มีการเตะและต่อย สัดส่วนที่ใช้คือ 7 ส่วนครึ่ง และ 6 ส่วน
- Secondary Action คือการกระทำรองโดยเสริมให้การกระทำหลักชัดขึ้น ท่าทางที่ใช้คือการก้าวขาขึ้นชี้หลังสัตว์ โดยที่การกระทำรองคือปรับท่าชี้ให้สมดุล สัดส่วนที่ใช้คือ 7 ส่วนครึ่ง
- Timing and Spacing เวลาและช่องว่าง ท่าทางที่ใช้คือการวิ่ง โดยใช้เฟรมที่มีจำนวนมาก เปรียบเทียบกับเฟรมที่มีจำนวนน้อย ทำให้เกิดการวิ่งเร็วและช้า สัดส่วนที่ใช้คือ 7 ส่วนครึ่ง
- Exaggeration คือการกระทำเกินจริง โดยใช้ท่าทางการวิ่งไปชนส่งของแล้วหมุนตัวหลายครั้ง สัดส่วนที่ใช้คือ 6 ส่วน
- Solid Drawing คือการโพสท่าทางให้มีปริมาตรเวลาอยู่ในฉาก โดยใช้ตัวละคร 3 ตัว ยืนให้มีท่าทางที่ชัดเจน สัดส่วนที่ใช้คือ 7 ส่วนครึ่ง
- Appeal คือการเคลื่อนไหวตัวละครให้มีเอกลักษณ์ที่โดดเด่น แสดงออกถึงอารมณ์และพฤติกรรม ท่าทางที่ใช้คือ ชายที่กำลังเดินเศร้า ๆ และพบกับปีศาจโควิด สัดส่วนที่ใช้คือ 7 ส่วนครึ่ง

ผลการออกแบบหุ่นโครงสร้าง

1. การร่างแบบร่าง ภาพเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างมนุษย์กับหุ่น Armature



2. หลังจากนั้นจึงออกแบบภาพเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างมนุษย์กับหุ่น Armature



3. การขึ้นโมเดลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



4. Ball joint และ Socket



ภาพจำลองสามมิติ
Ball joint รูปที่ 12

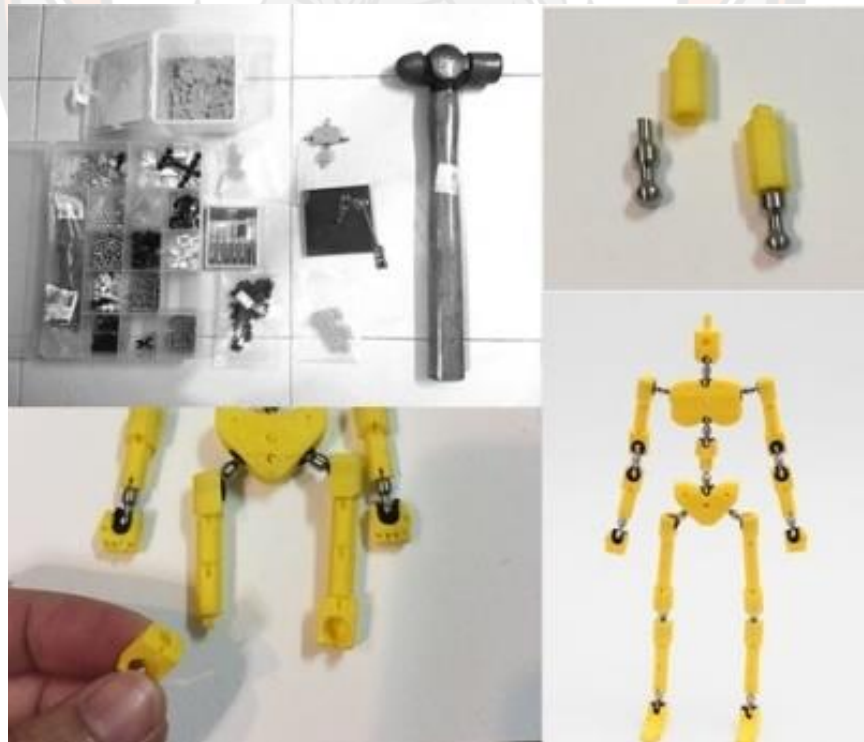
ภาพจำลองสามมิติ
Socket รูปที่ 2

การพิมพ์สาม

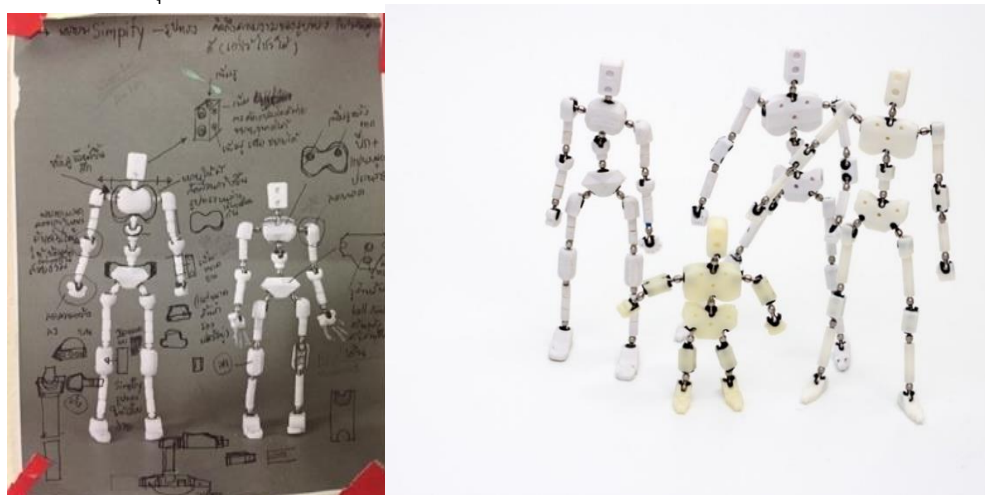
5. การทดลองพิมพ์สามมิติ และเลือกวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์สามมิติ



6. การถอดประกอบหุ่นโครงสร้าง



7. รูปแบบที่ 1 วัสดุ PLA, อะลูมิเนียม, และ TPU ออกแบบและปรับปรุงแบบให้มีความสมดุลงมากขึ้น เพื่อนำต้นแบบที่พิมพ์ด้วยพลาสติก PLA ไปขอคำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตในระบบอุตสาหกรรม
8. การพัฒนาหุ่นโครงสร้าง



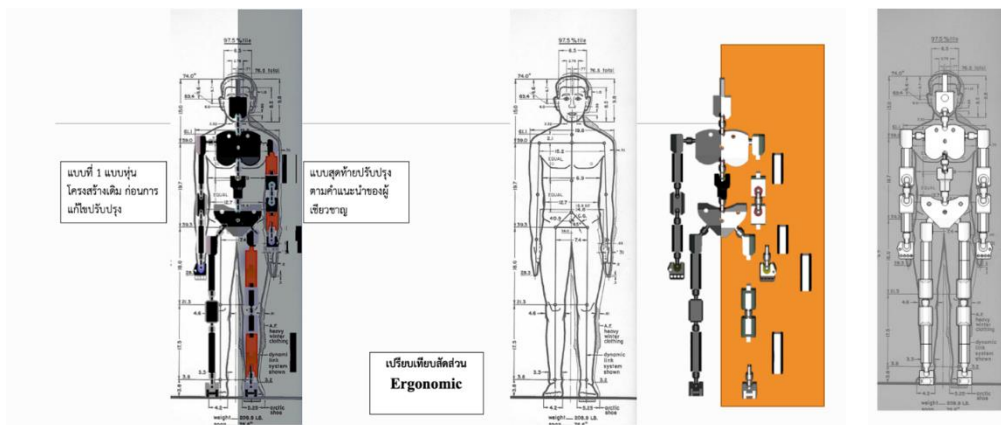
9. การปรับปรุงโครงสร้าง Armature ช่วงที่ 1 โดยการ Delphi ครั้งที่ 1

ประเมินผลงานออกแบบ Armature ครั้งที่ 1 โดยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 4 ท่าน หลังจากที่ได้โมเดลต้นแบบแล้ว ผู้วิจัยได้นำไปพบผู้เชี่ยวชาญ ที่ผลิตแอนิเมชันสตอปโมชัน และผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับการทำแอนิเมชันโดยตรง และได้สัมภาษณ์เชิงลึกเกี่ยวกับโครงสร้างของหุ่น และการเคลื่อนไหว โดยขอข้อมูลจากจำนวน 4 ท่าน ได้แก่

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

ผลของการ Delphi ครั้งที่ 1 ผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำว่า

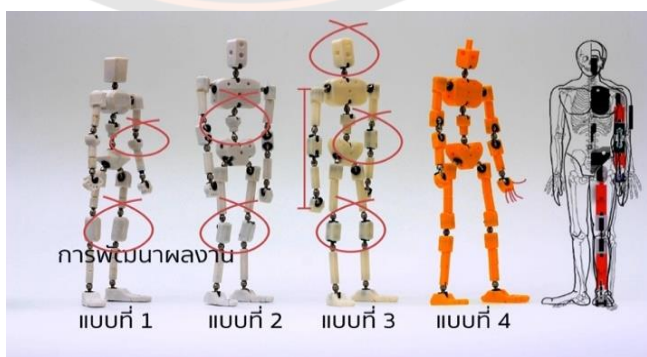
1. ปรับปรุงส่วนข้อศอก อาจลองใช้เป็นบอลแทนข้อต่อชิ้นใหญ่
2. โครงสร้างไม่สามารถลดทอนได้ควรเพิ่มข้อต่อที่สามารถถอดประกอบได้
3. ให้ตรวจสอบสัดส่วนความยาวของแขนและขา ว่าถูกต้องหรือไม่
4. ควรเพิ่มพื้นผิวเพื่อให้ยึดเกาะกับดินน้ำมันได้



10. รูปแบบสุดท้าย ที่ปรับปรุงแบบตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

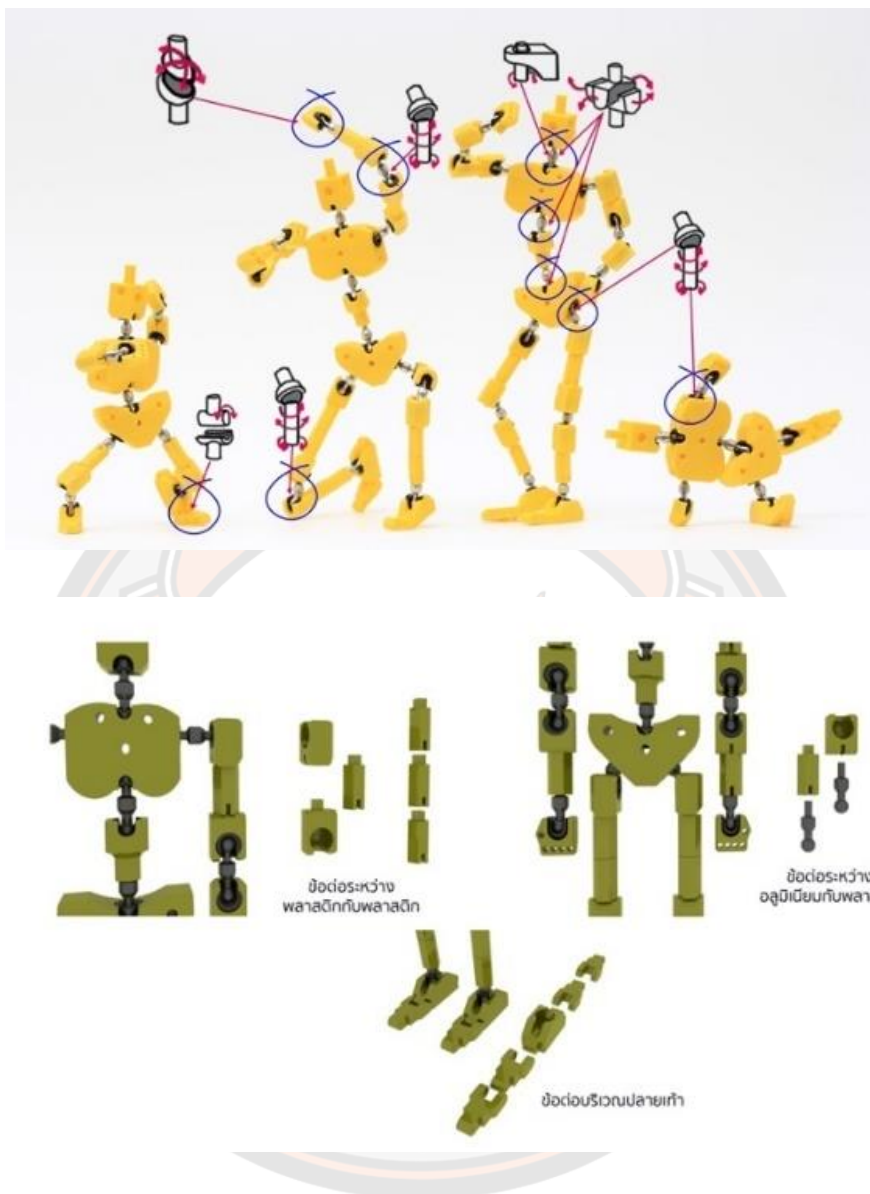
เมื่อนำการ Delphi ครั้งที่ 1 มาปรับปรุงรูปแบบโครงสร้างใหม่ และ ออกแบบให้มีการใช้งานที่ตรงกับวัตถุประสงค์มากขึ้น ดังนั้นจึงปรับเปลี่ยนจากเดิม คือ

- 1 ปรับส่วนข้อต่อที่ศอก คือ จากเดิมมีข้อต่อจากสองฝั่ง ทำให้มีจุดหมุนของข้อศอก 2 จุด เปลี่ยนมาเป็น ใช้บอล 2 หัว เชื่อมระหว่างแขนท่อนบนและท่อนล่าง
- 2 โครงสร้างแขนและขารวมถึงข้อต่อสามารถใช้ได้เหมือนกันหมด ดังนั้นจึงสามารถเพิ่มขนาดความสูง หรือดัดแปลงให้มีรูปแบบได้หลากหลายรวมทั้งมีรูกลวงลำตัว ที่สามารถต่อกับก้านบอลหัวเดียวได้ จึงสามารถต่อแขน หรือดัดแปลงเป็นปีกได้
- 3 ความยาวของแขนและขา เมื่อตัดส่วนที่ใช้แทนเข่า และ ศอก ออกไป จึงได้สัดส่วนตามหลัก Ergonomic ที่สมบูรณ์มากขึ้น
- 4 พื้นผิวที่ใช้สำหรับยึดเกาะ ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีลักษณะเป็น 6 เหลี่ยม และใช้แนวข้อต่อของหุ่น เป็นตัวยึดวัสดุประเภทดินน้ำมันไม่ให้หลุดออกจากหุ่นได้



รูปแบบที่ 4 คือรูปแบบที่เสร็จสมบูรณ์ มีการปรับปรุงตามขั้นตอนของการออกแบบและการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ

11. การพังอของข้อต่อและการเพิ่มขนาด ลดขนาด ของข้อต่อหุ่นโครงสร้าง



ข้อต่อที่ใช้ในการออกแบบหุ่นโครงสร้าง Armature ผู้วิจัยได้ยึดตามหลักการหมุนของข้อต่อ มนุษย์ และการทำตารางเพื่อเปรียบเทียบจำนวนของข้อต่อ รวมถึงการหาตัวอย่างมีเปรียบเทียบ จึงได้แบ่งออกเป็น 3 แบบด้วยกันคือ

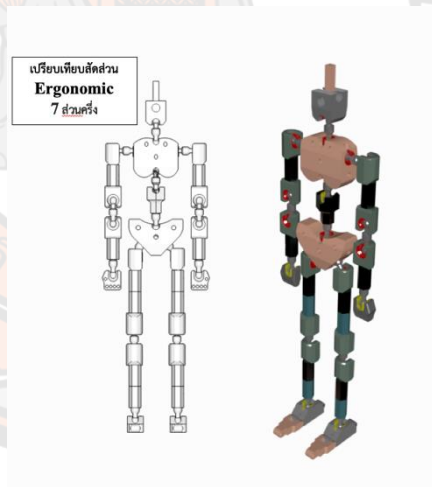
1. ข้อต่อระหว่างพลาสติกกับพลาสติก โดยมีเบ้า (Socket) เป็นตัวรองรับบอลอะลูมิเนียม 2 หัว ตัวพลาสติกที่เป็นเบ้านี้ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มี 2 แบบด้วยกัน คือมีตัวรับและตัวเสียบ เพื่อรองรับตัวต่อพลาสติกที่เป็นสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถเสียบต่อกับพลาสติกชนิดนี้ได้ และสามารถเป็นเบ้าสี่เหลี่ยมที่มีรูกลมตรงกลางเพื่อรองรับทั้งตัวต่อสี่เหลี่ยม และตัวต่อชนิดหัวบอลก้านเดียวได้อีกด้วย

2. ข้อต่อระหว่างอะลูมิเนียมและพลาสติก โดยได้ออกแบบข้อต่อที่มีด้านหนึ่งเป็นสี่เหลี่ยมและอีกด้านเป็นห้าเหลี่ยม แต่มีความพิเศษตรงที่มีรูตรงกลาง ขนาดพอดีกับ ก้านหัวบอลประเภทหัวเดี่ยว ซึ่งก้านอีกข้างผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร เพื่อให้ตรงกับรูของข้อพลาสติก จากนั้นสามารถประกอบได้โดยใช้กาวยึดและใช้ค้อนตอกให้แน่น ส่วนอีกด้าน ก็สามารถต่อขึ้นได้เรื่อยๆ เป็นการเพิ่มความยาวได้ไม่รู้จบ
3. ข้อต่อบริเวณปลายเท้า ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีหัว และ ท้าย สามารถต่อกันไปได้เรื่อยๆไม่รู้จบ และยังต่อจากข้อเท้าทั้งหน้าและหลังได้ ซึ่งลักษณะการบิดงอสามารถหมุนบิดได้แกนเดียว จึงไม่จำเป็นต้องใช้หัวบอลอะลูมิเนียม แต่ทำรูวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตรไว้สำหรับ ใส่แม่เหล็ก ขนาด 4 มิลลิเมตรได้ เพื่อประโยชน์ต่อการทรงตัวของหุ่นโครงสร้าง Armature

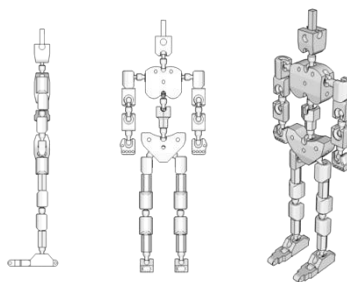
สัดส่วนและความสมดุล

ผู้วิจัยได้ออกแบบข้อต่อที่มีลักษณะเหมือนกัน จึงทำให้สามารถถอดทอนสัดส่วนได้ดังนี้

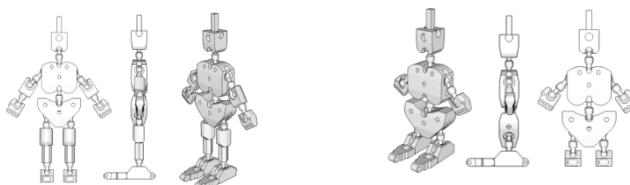
- 1 หุ่นโครงสร้างขนาด 7 ส่วนครึ่ง ซึ่งใช้ข้อต่อพลาสติกทุกชิ้น ในการประกอบ



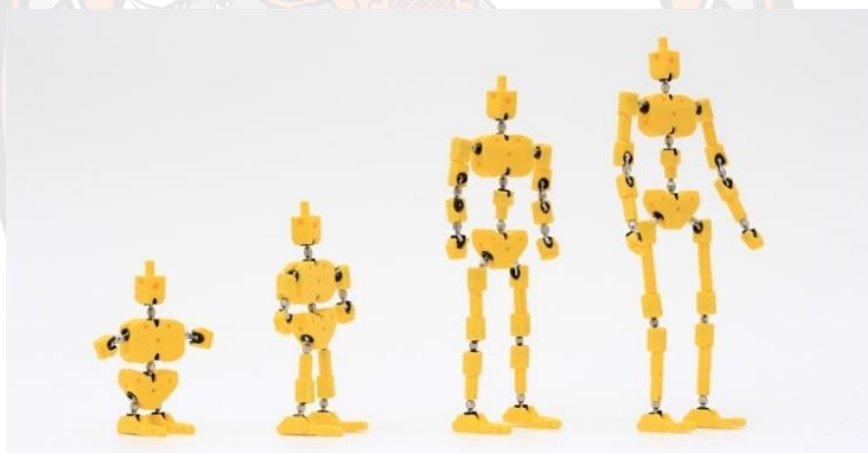
- 2 หุ่นโครงสร้างขนาด 6 ส่วน ซึ่งถอดส่วนที่เป็นจิกซอร์ว้ออกทั้งแขนและขาทั้งหมด 6 ชิ้น เพื่อลดทอนสัดส่วนให้มีขนาดเท่ากับที่ต้องการ และยังสามารถขยับได้เหมือนเดิม



3 รุ่นโครงสร้างขนาด 4 ส่วน โดยนำตัวต่อมาสลับโครงสร้างละต่อชิ้นใหม่ โดยยังสามารถงอศอกและหัวเข้าได้อย่างอิสระ



4 ขนาด 3 ส่วน เหมาะสำหรับตัวละครเด็ก หรือตัวละครที่น่ารักสดใส สามารถงอแขนและขาได้ตามปกติเพราะใช้บอลสองหัวเป็นการยึดข้อต่อส่วนต่างๆ เปรียบเทียบสัดส่วนทั้ง 4 ส่วน โดยที่ตัวโครงสร้าง Armature 7 ส่วนครีว ที่เป็นตัวหลักที่มีสัดส่วนเหมือนคนนั้น มีขนาดสัดส่วนเท่ากับ 1 ต่อ 8 ของโครงสร้างมนุษย์ ความสูงโดยเฉลี่ย 20 เซนติเมตร



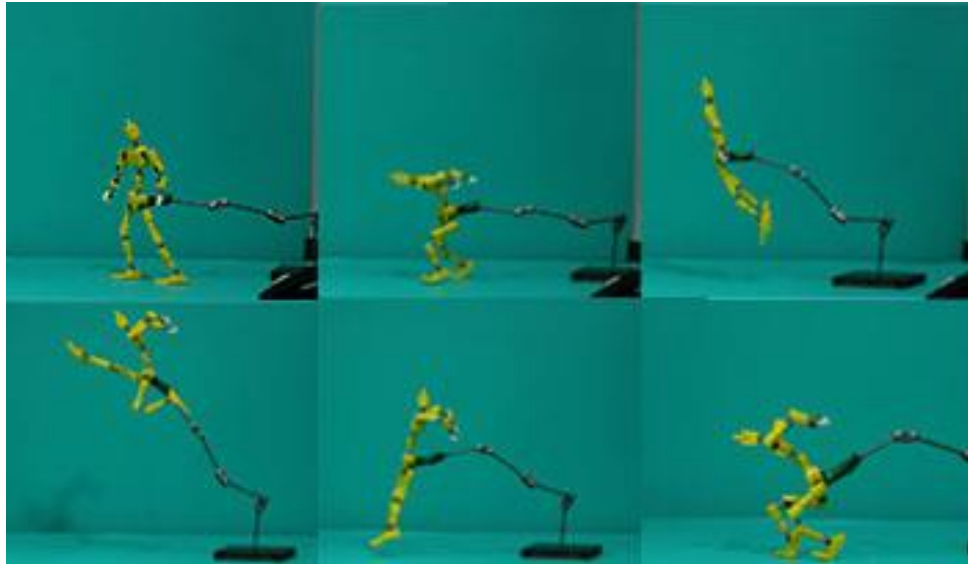
การนำหุ่นโครงสร้างไปใช้แสดงท่าทางและการเคลื่อนไหว

ผู้วิจัยได้ผลิตสตอปโมชันความยาว 3 – 5 นาทีเพื่อทำการทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่นโครงสร้าง โดยการใช้แบบสอบถามเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวของหุ่นโครงสร้าง โดยการใช้การหาค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐาน (X-bar)

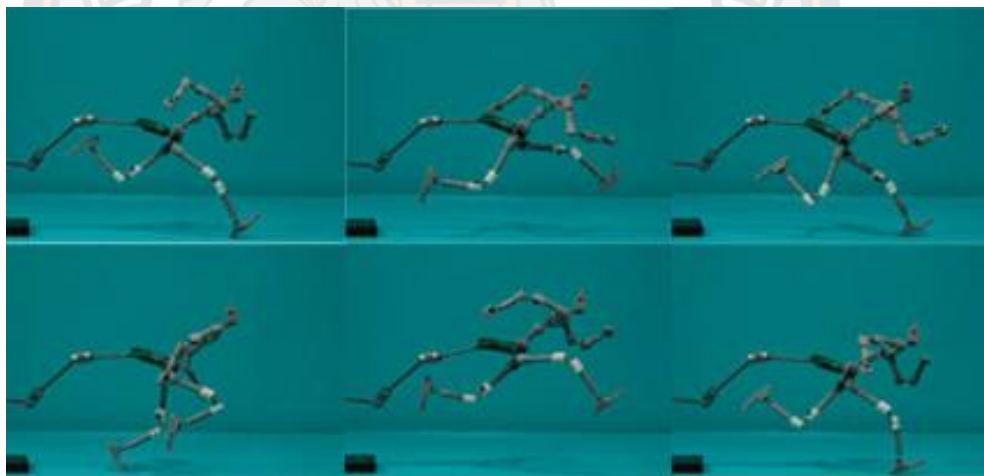


ภาพสตอรี่บอร์ดสตอปโมชันแอนิเมชันตามกฎแอนิเมชัน 12 ข้อ

Squash and Stretch



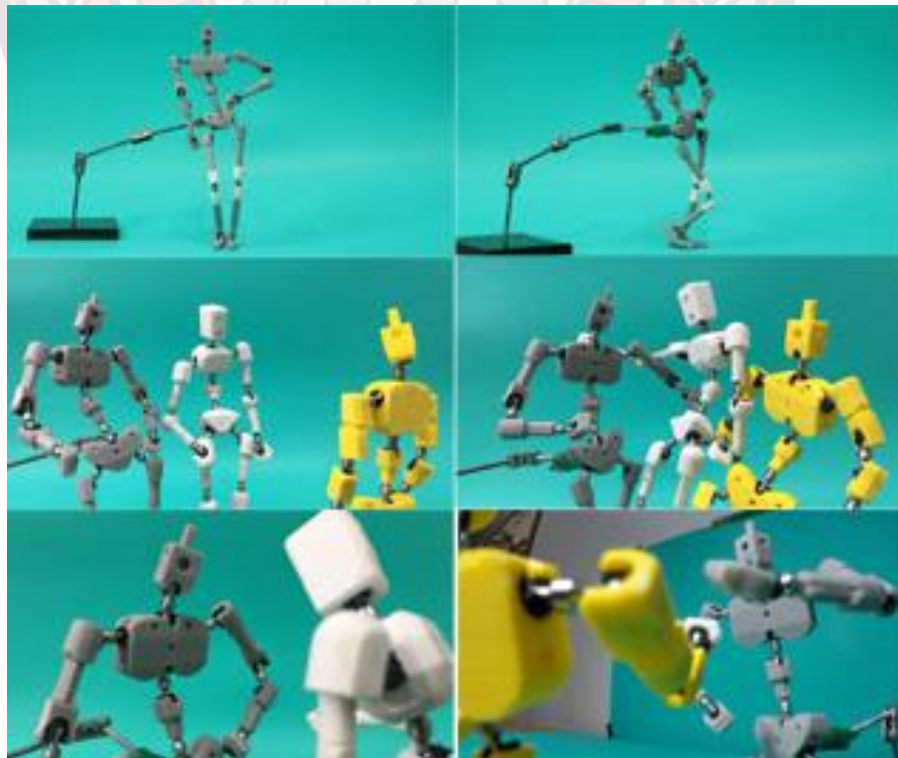
Timing and Spacing



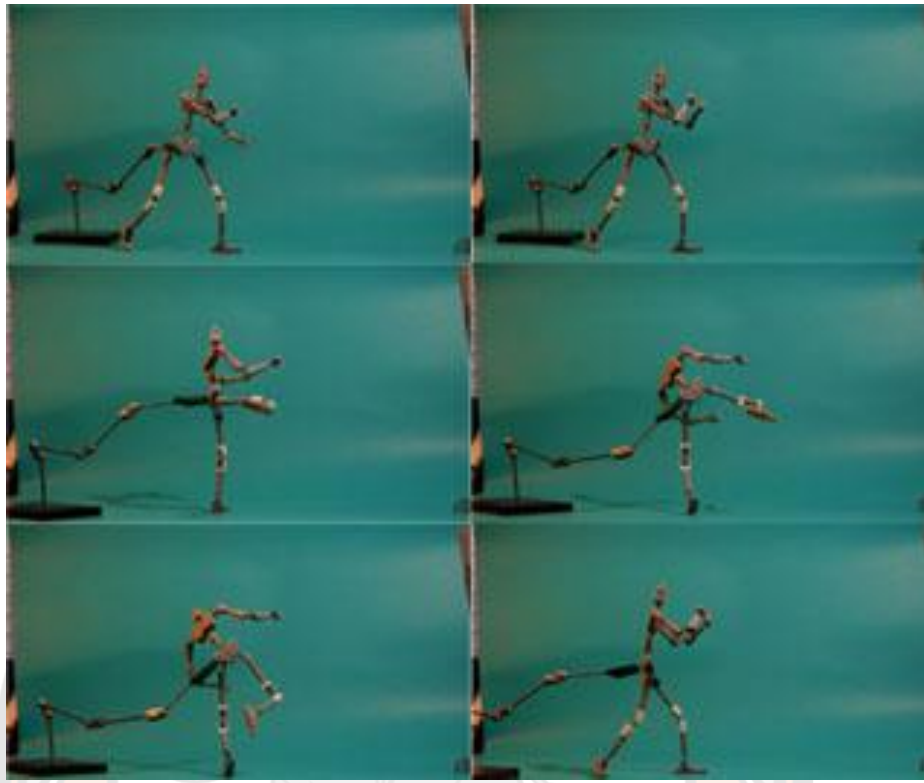
Staging



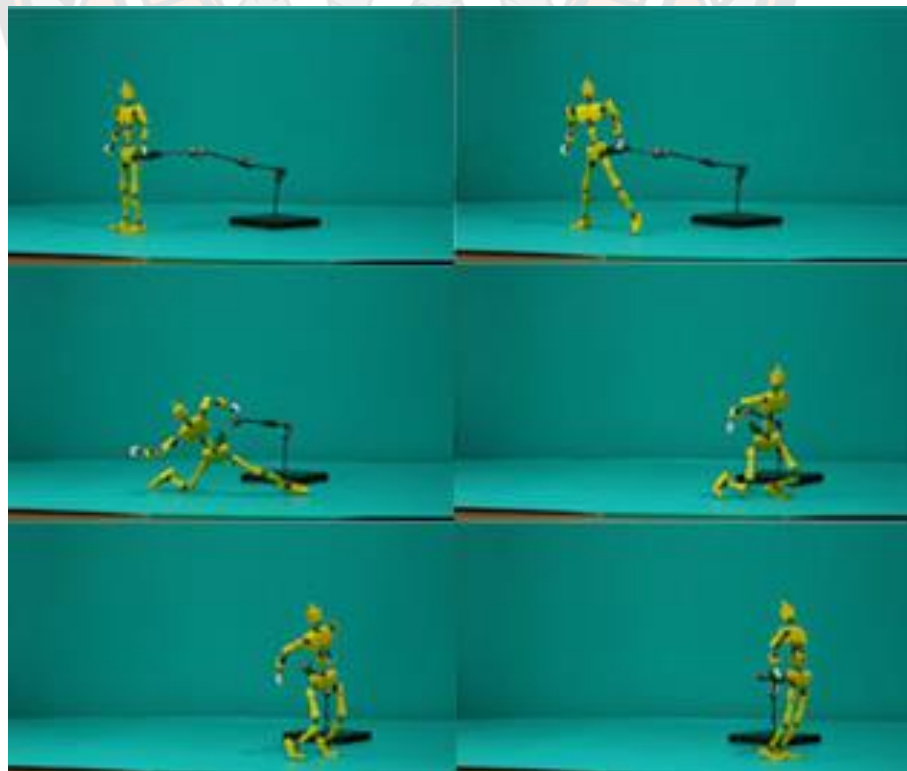
Solid drawing



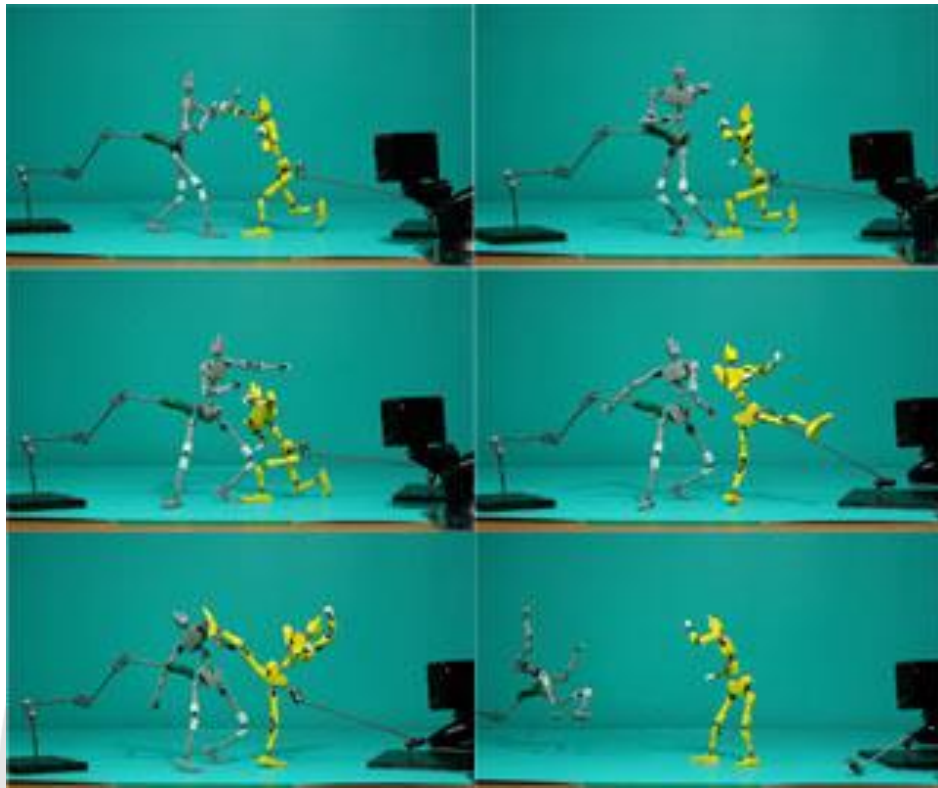
Anticipation



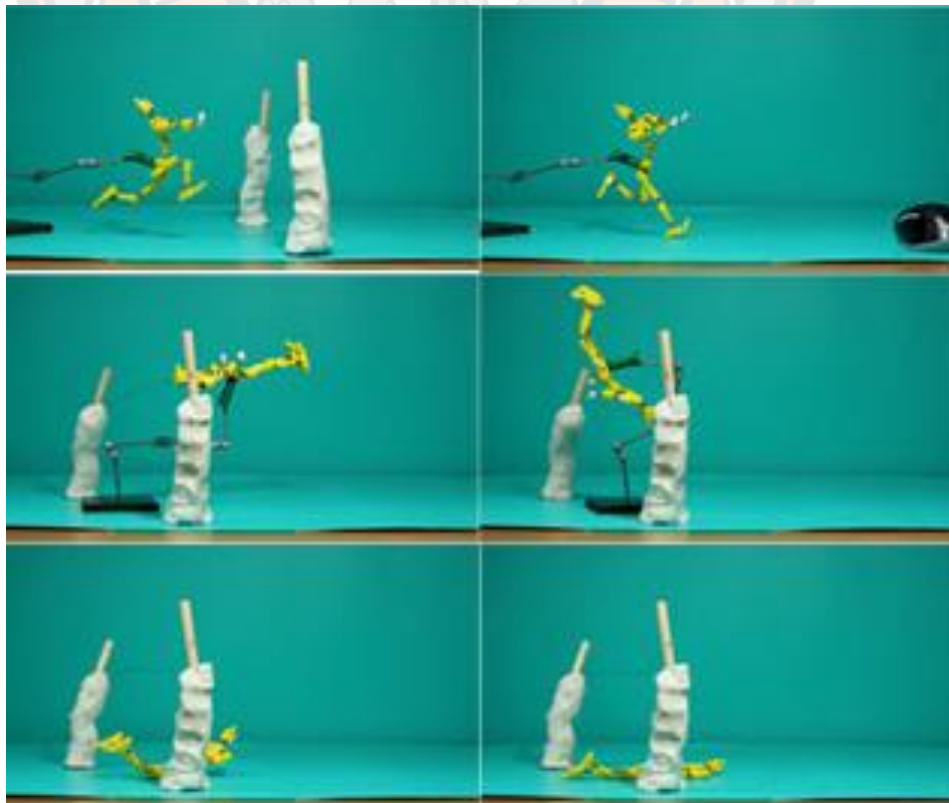
Follow Through and Overlapping Action



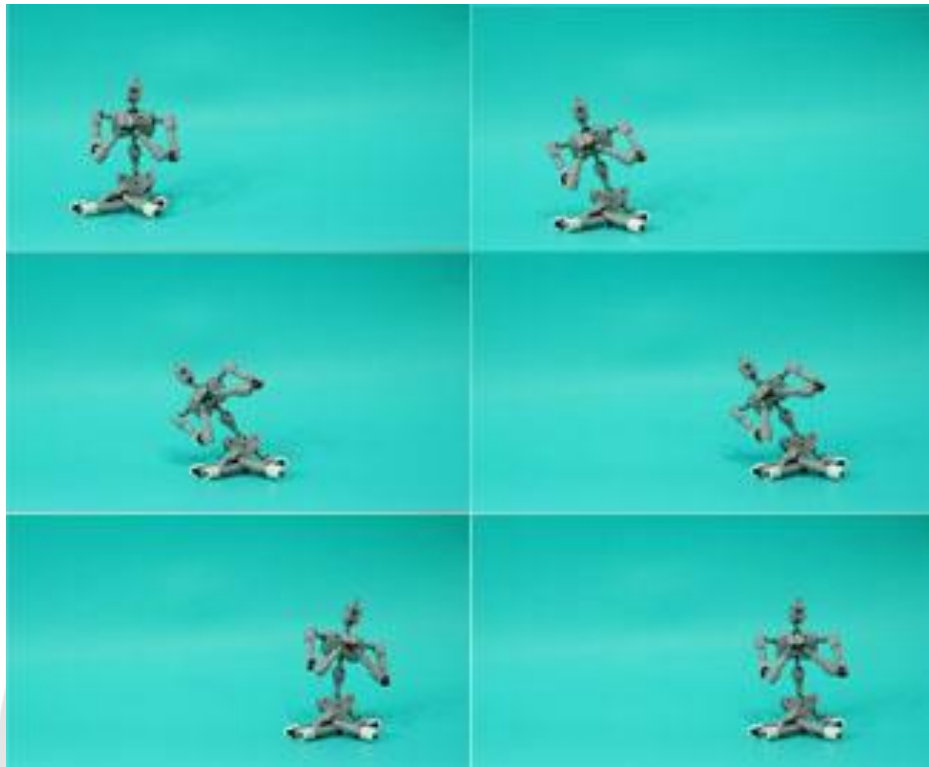
Arcs



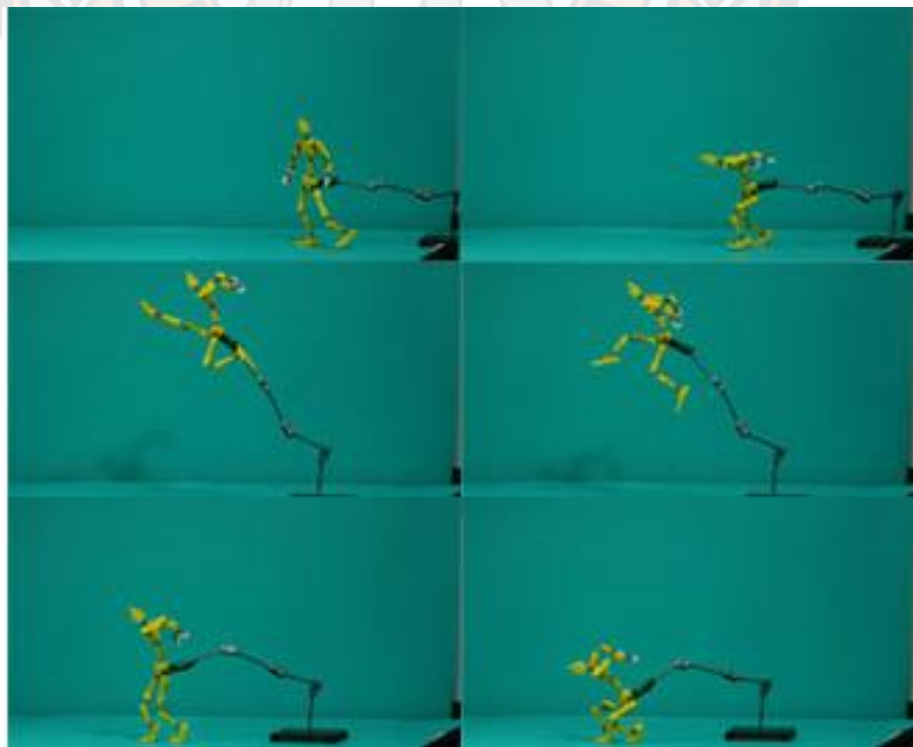
Exaggeration



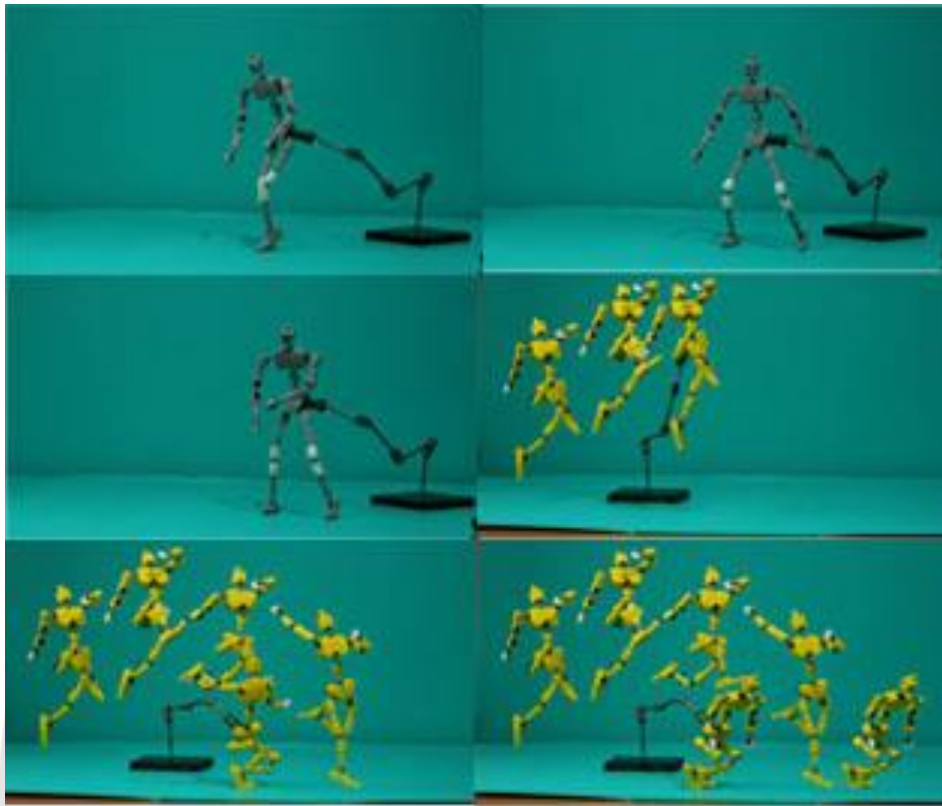
Slow in and Slow out



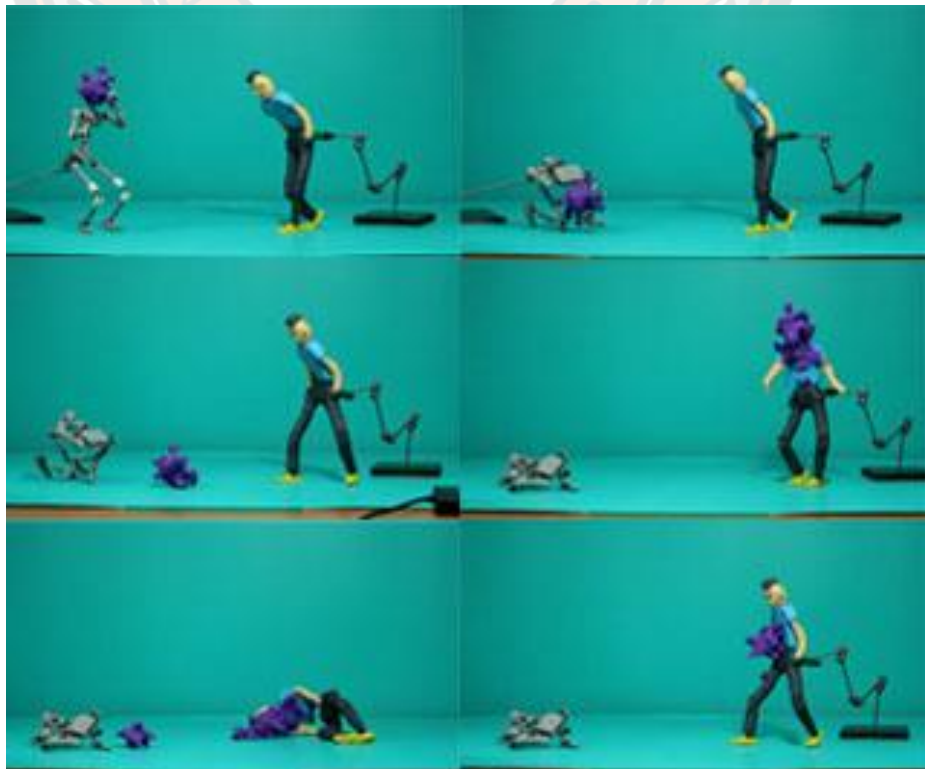
Secondary Action



Straight Ahead and Pose to Pose



Appeal



การประเมินหุ่นโครงสร้างด้วยผู้เชี่ยวชาญ 7 ท่าน ผ่านการตอบแบบสอบถามออนไลน์และการรับชมภาพยนตร์สตอปโมชันแอนิเมชัน 1 คลิป และวีดิโอตัวอย่างการใช้งานหุ่นโครงสร้าง Armature ทั้ง 4 สัปดาห์ ซึ่งผลการประเมินมีดังต่อไปนี้

ตาราง 13 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเหมาะสม ในการนำหุ่น
โครงสร้างไปใช้ในงานสตอปโมชันแอนิเมชัน

ลำดับที่	รายการ	ระดับความเหมาะสม		
		\bar{x}	S.D.	การแปลผล
	ด้านการออกแบบหุ่นโครงสร้าง			
1	วัสดุที่เลือกใช้	4.14	0.69	มาก
2	วิธีการถอดและประกอบหุ่นโครงสร้าง	4.14	0.69	มาก
3	ความแข็งแรงของข้อต่อ	4.29	0.76	มาก
4	ลักษณะและจำนวนของข้อต่อเหมาะสมกับการเคลื่อนไหว	4.29	0.76	มาก
5	สีและขนาดสัดส่วนของหุ่นโครงสร้าง	3.71	0.95	มาก
6	ลักษณะโครงสร้างที่รองรับน้ำหนักลำตัว เพื่อให้สามารถดัดแปลงท่าทางให้หยุดนิ่งได้	4.00	0.58	มาก
7	ความสำเร็จรูปของหุ่นโครงสร้าง	4.00	0.58	มาก
8	หุ่นโครงสร้างสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ ได้ เช่น การประดับตกแต่ง การเป็นแบบในการร่างภาพบุคคล	3.86	1.46	มาก
	ด้านการนำหุ่นโครงสร้างไปใช้ในสตอปโมชันแอนิเมชัน			
9	การประยุกต์ใช้หุ่นโครงสร้างกับวัสดุห่อหุ้มประเภทดินน้ำมัน	4.00	1.41	มาก

ลำดับที่	รายการ	ระดับความเหมาะสม		
		\bar{x}	S.D.	การแปลผล
10	การประยุกต์ใช้หุ่นโครงสร้างกับวัสดุห่อหุ้มประเภทผ้า	3.86	0.69	มาก
11	การประยุกต์ใช้หุ่นโครงสร้างกับวัสดุห่อหุ้มประเภทซิลิโคน	4.00	1.15	มาก
12	การประยุกต์ใช้หุ่นโครงสร้างกับวัสดุห่อหุ้มประเภทชุดเกราะจากการพิมพ์สามมิติ (3D printing)	4.00	0.58	มาก
13	หุ่นโครงสร้างมีการถอดและประกอบใหม่ได้หลากหลายรูปแบบตามความต้องการ	4.14	0.69	มาก
14	ลักษณะและจำนวนของข้อต่อสามารถเคลื่อนไหวได้ตามกฎแอนิเมชัน 12 ข้อ	4.57	0.53	มากที่สุด
15	หุ่นโครงสร้างสามารถจัดทำทางสื่อสารในเรื่องของอารมณ์ความรู้สึก การแสดงความหมายของตัวละครได้	4.14	0.69	มาก
16	หุ่นโครงสร้างสามารถนำมาออกแบบทำทางได้อย่างอิสระ เช่น ฉีกขา ยึดตัว หดตัว มีการเคลื่อนไหวที่ดูสมจริง	4.43	0.53	มาก
17	โดยรวม หุ่นโครงสร้างนี้มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงหรือไม่	4.29	0.76	มาก

จากตารางพบว่า ลักษณะและจำนวนของข้อต่อหุ่นโครงสร้างสามารถเคลื่อนไหวได้ตามกฎแอนิเมชัน 12 ข้อ มีผลประเมินที่มากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.53, และหุ่นโครงสร้างสามารถนำมาออกแบบทำทางได้อย่างอิสระ มีการเคลื่อนไหวที่ดูสมจริง, จำนวนของข้อต่อ, ความแข็งแรงของข้อต่อ, และลักษณะของข้อต่อเหมาะสมกับการเคลื่อนไหว เป็นลำดับต่อมา ที่ค่าเฉลี่ย 4.29 เท่ากัน

บทที่ 5

สรุปผลและอภิปรายผล

การดำเนินงานวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครสตอปโมชันแอนิเมชัน การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นที่จะศึกษาโครงสร้างหุ่น Armature ที่ผลิตจากต่างประเทศเป็นสำคัญ เพื่อนำมาวิเคราะห์โครงสร้างและออกแบบชิ้นใหม่ให้ตรงตามบุคลิกลักษณะของมนุษย์ชาวเอเชียและชาวไทย เพื่อเทียบสัดส่วนและลดทอนให้เกิดเป็นโครงสร้าง สำหรับใช้ในการผลิตแอนิเมชันประเภทสตอปโมชัน โดยมีการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีต่างๆ ได้แก่ แนวคิดเกี่ยวกับการผลิตสตอปโมชันแอนิเมชันว่ามีประวัติศาสตร์และความเป็นมาเป็นเช่นไร ตลอดจนกระบวนการในการสร้างสรรค์ผลงาน และการผลิตตัวละครออกมาให้สามารถเคลื่อนไหวได้ แนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างและการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกมนุษย์ โดยเปรียบเทียบจากการหาข้อมูลโครงสร้างกระดูกของมนุษย์ชาวเอเชีย แนวคิดเกี่ยวกับหุ่นโครงสร้าง Armature และการเคลื่อนไหวของตัวละครสตอปโมชัน โดยเน้นศึกษาข้อมูลจากหุ่นโครงสร้าง Armature ที่เป็นตัวละครหลักของเรื่องจำนวน 10 เรื่อง และ หุ่นโครงที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรมจำนวน 12 แบบ แนวคิดเกี่ยวกับจลนศาสตร์การเคลื่อนไหวของมนุษย์และการเคลื่อนไหวแบบอนิเมชัน โดยเน้นไปทางการเคลื่อนไหวของข้อต่อมนุษย์ที่สามารถเคลื่อนไหวได้ในแบบแอนิเมชัน หรือ เคลื่อนไหวได้ตามกฎ 12 ข้อของแอนิเมชัน แนวคิดด้านโปรแกรมออกแบบภาพ 3 มิติ และการพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งเทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถนำภาพที่เราวาดหรือออกแบบมาขึ้นให้เกิดรูปทรงที่เป็น 3 มิติได้ อีกทั้งยังสามารถพิมพ์ออกมาเป็นรูปแบบเดียวกับที่เราออกแบบไว้แทนการปั้นที่ละชิ้นและทำแม่พิมพ์เหมือนในอดีต ซึ่งข้อดีของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ คือสามารถผลิตได้ในจำนวนมากและใช้เวลารวดเร็วในการพิมพ์ต้นแบบ แต่ข้อเสียคือวัสดุที่ใช้มีความเปราะและแตกหักง่าย จึงเหมาะกับการทำต้นแบบมาใช้งานในระยะสั้น ซึ่งอยู่ในขอบเขตของงานวิจัย

ต่อจากนั้นเมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนแล้วจึงนำมาทำการออกแบบและผลิตหุ่นโครงสร้าง Armature ให้ได้ต้นแบบของหุ่นโครงสร้าง Armature เพื่อนำมาทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่นโครงสร้าง Armature และผลิตสตอปโมชันแอนิเมชัน ซึ่งใช้ระยะเวลาในการปรับปรุงและแก้ไขโมเดลต้นแบบเป็นเวลา 1 ปี รวมทั้งได้นำต้นแบบไปให้ผู้เชี่ยวชาญได้ตรวจสอบ จึงสามารถนำมาผลิตเป็นหุ่นต้นแบบได้ จากนั้นจึงนำไปใช้ประกอบการเคลื่อนไหวตามกฎ 12 ข้อของแอนิเมชัน ซึ่งในแต่ละข้อสามารถนำหุ่นโครงสร้างไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยตรวจสอบได้จากการได้รับผลการประเมินตามแบบสอบถามทั้ง 17 ข้อ จากผู้เชี่ยวชาญด้านแอนิเมชันและสตอปโมชัน

โดยได้สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ 3 ข้อคือ 1. เพื่อศึกษา และ วิเคราะห์หุ่นโครงสร้างที่ใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน 2. เพื่อออกแบบ และ สร้างสรรค์หุ่นโครงสร้าง และ นำไปใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน 3. เพื่อทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่นโครงสร้าง และ สร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชันสตอปโมชัน โดยมีการพิจารณาขอบเขตด้านเนื้อหาได้แก่ 1.ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกมนุษย์ โดยศึกษาเฉพาะข้อต่อและการเคลื่อนไหวของมนุษย์ 2.ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตสตอปโมชันแอนิเมชันโดยศึกษาเฉพาะโครงสร้างหุ่น Armature และ สัดส่วน ของตัวละครหลักจากภาพยนตร์สตอปโมชันจำนวน 10 เรื่อง 3.ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้าง Armature เฉพาะเทคนิคและออกแบบโครงสร้างหุ่น Armature สำหรับผลิตตัวละครในแอนิเมชันประเภทสตอปโมชันเป็นสำคัญ โดยวิเคราะห์จากโครงสร้างหุ่น Armature จำนวน 12 รูปแบบ 4. ศึกษาเกี่ยวกับจลนศาสตร์การเคลื่อนไหวของมนุษย์เพื่อนำมาเทียบกับวัสดุที่สามารถทำให้เคลื่อนไหวได้ใกล้เคียงกับข้อต่อส่วนต่าง ๆ 5.ศึกษาการเคลื่อนไหวแบบอนิเมชัน ที่มีกฎการสร้างการเคลื่อนไหวจำนวน 12 ข้อ 6.ศึกษาด้านโปรแกรมออกแบบภาพ 3 มิติ และการพิมพ์ 3 มิติ

ขอบเขตด้านประชากร ได้แก่ การใช้วิธี Delphi 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 มีผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน ครั้งที่ 2 มีผู้เชี่ยวชาญ 7 ท่าน และกลุ่มตัวอย่าง คือหุ่นโครงสร้าง Armature จากภาพยนตร์ 10 ตัว หุ่นโครงสร้างจากระบบอุตสาหกรรม 12 ตัว และนำมาผลิตตามต้นแบบ 5 ตัว และสุดท้ายคือขอบเขตด้านการออกแบบคือ 1.มุ่งเน้นเฉพาะการออกแบบหุ่น Armature จำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ Armature ตัวละคร 7 ส่วนครึ่ง, ตัวละคร 6 ส่วน, ตัวละคร 4 ส่วน, และ ตัวละคร 3 ส่วน 2.การผลิตและอธิบายเทคนิคการสร้างหุ่น Armature ผู้วิจัยได้เลือกใช้เฉพาะการทดลองพิมพ์ 3 มิติ เท่านั้น ซึ่งมิได้ลงรายละเอียดไปถึงวัสดุที่ใช้ให้เกิดความทนทานในระยะยาว 3.การเสนอแนะต้นแบบและเทคนิคการสร้างหุ่น Armature สามารถทำได้โดยการทดสอบจากโมเดลจำลองที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3D เท่านั้น ด้วยการสร้างสรรค์ผลงาน Stop motion ที่แสดงรายละเอียดการเคลื่อนไหวหุ่น Armature จึงได้อภิปรายผลเพื่อตอบวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้ ดังนี้

สรุปผลและอภิปรายผล

วัตถุประสงค์ข้อ 1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หุ่นโครงสร้าง ที่ใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน

ผลของการเปรียบเทียบลักษณะข้อต่อของมนุษย์ทั้ง 69 จุด และข้อต่อหุ่นโครงสร้าง Armature ทั้ง 12 แบบ จึงได้ข้อสรุปในการผลิตต้นแบบหุ่นโครงสร้าง Armature โดยได้ข้อต่อจำนวน 28 จุด ซึ่งเพียงพอต่อการเคลื่อนไหวให้ได้ตามกฎ 12 ข้อของแอนิเมชัน ดังต่อไปนี้

- | | | |
|----------------------------------|---|-----|
| 1. ข้อต่อส่วนคอ และ หัว | 2 | จุด |
| 2. ข้อต่อส่วนไหล่ปลาร้าและต้นแขน | 4 | จุด |

3. ข้อต่อแขนท่อนบนและแขนท่อนล่างและข้อมือ	8	จุด
4. ข้อต่ออก เอว และ ข้อต่อเชิงกราน	3	จุด
5. ขาท่อนบนและขาท่อนล่าง	6	จุด
6. ข้อต่อข้อเท้าและปลายนิ้วเท้า	4	จุด
7. ข้อต่อในส่วนนิ้วมือ	0	จุด

สรุปผลได้ว่า ข้อต่อหุ่น Armature ที่ใช้ในการสร้างสรรค์สตอปโมชันแอนิเมชัน มีรวมกันทั้งหมด 27 จุด ซึ่งเป็นข้อต่อที่จำเป็นต่อการออกแบบหุ่นโครงสร้าง และข้อต่อในส่วนนิ้วมือใช้รูปแบบที่มีลักษณะของลวดหุ้มด้วยผ้าหรือซิลิโคนแทน เพื่อง่ายต่อการตัดให้งอและง่ายต่อการผลิต

ผลการวิเคราะห์จากตัวละครสตอปโมชันแอนิเมชันจำนวน 10 เรื่อง และการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการพิมพ์ 3 มิติ โดยวิเคราะห์จากสัดส่วนตัวละครและโครงสร้างวัสดุที่ใช้ในการผลิตหุ่นโครงสร้าง Armature สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สัดส่วนตัวละคร สัดส่วนตัวละครที่ใช้มากที่สุดคือ 4 ส่วน และสัดส่วนที่ใช้น้อยที่สุดคือ 3 ส่วน และ 6 ส่วน จึงเป็นผลให้ผู้วิจัยออกแบบหุ่นโครงสร้าง Armature ที่มีการถอดประกอบโครงสร้างได้ โดยโครงสร้างหลักคือ 7 ส่วนครึ่ง หมายถึงมนุษย์ทั่วไป และโครงสร้างสามารถถอดประกอบได้ และลดทอนลงมาเหลือ 6 ส่วน , 4 ส่วน, และ 3 ส่วนตามลำดับ

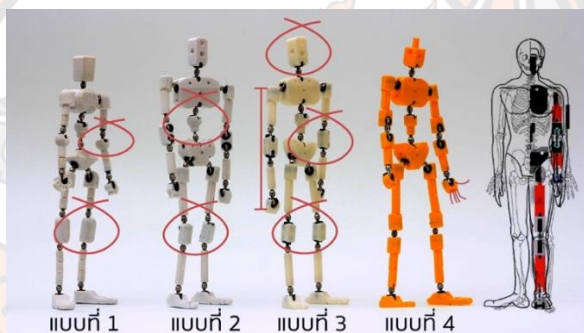
ได้ผลการประเมินตามแบบสอบถามข้อที่ 1 คือวัสดุที่เลือกใช้ และ ข้อ 2 การถอดประกอบหุ่นโครงสร้างมีความเหมาะสมในระดับมาก มีผลประเมิน 4.14 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.69

ผู้วิจัยกำหนดให้ความสูงของมนุษย์ชาวอาเซียนมีค่าเฉลี่ยประมาณประมาณ 170 cm หรือ 7 ส่วนครึ่ง คิดเป็น สัดส่วน 1 : 1 เท่า สัดส่วนความสูงของหุ่นโครงสร้าง Armature ขนาด 7 ส่วนครึ่ง คิดเป็นความสูง 20 cm ดังนั้น สัดส่วนของหุ่นโครงสร้าง Armature จึงมีอัตราส่วนเท่ากับ 1 : 8 เท่าของส่วนสูงมนุษย์

ได้ผลการประเมินตามแบบสอบถามข้อที่ 5 คือ สรีระและขนาดสัดส่วนของหุ่นโครงสร้าง มีผลประเมิน 3.71 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.95

2. วัสดุที่ใช้ในการผลิตคืออลูมิเนียมและโลหะ ข้อดีคือมีความแข็งแรง ข้อเสียคือเป็นหุ่นโครงสร้างที่ผลิตเฉพาะตัวละครนั้นๆ ไม่สามารถถอดประกอบหรือสร้างได้หลากหลาย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ข้อสรุปเพื่อทำการออกแบบหุ่นโครงสร้าง คือ สามารถถอดหรือประกอบชิ้นส่วนเพื่อสัดส่วนได้ตามต้องการ และวัสดุที่ใช้ในการผลิตจะต้องมีความแข็งแรงและสามารถผลิตได้จริง ผู้วิจัยจึงนำรูปแบบการพิมพ์สามมิติมาใช้ ผสมผสานกับข้อต่ออลูมิเนียม และมีพลาสติก TPU (Thermoplastic Polyuretha) ระหว่างข้อต่อ (Joint) และเข้าข้อต่อ (Socket) เพื่อให้มีลักษณะข้อ

ต่อที่สามารถเคลื่อนไหวได้เหมือนจริงมากที่สุด ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญพบว่า ข้อต่อมีความแข็งแรงและมีลักษณะที่เหมาะสมกับการเคลื่อนไหว สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เพราะการออกแบบข้อต่อได้อ้างอิงถึงข้อต่อของมนุษย์และหลักการออกแบบข้อต่อของ ทอม บริทล์ (1957) เพื่อออกแบบและสร้างสรรค์หุ่นโครงสร้าง และนำไปใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชัน ผู้วิจัยเริ่มจากศึกษาและออกแบบตามลักษณะโครงสร้างของมนุษย์และการออกแบบหุ่นโครงสร้าง นำข้อสรุปมาทำร่างแบบ ทดลองขึ้นรูปโมเดลมิติ และพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ/เครื่องกลึง CNC นำต้นแบบไปประเมินด้วยผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นนำมาแก้ไขและพัฒนาเป็นต้นแบบสุดท้ายและประเมินด้วยผู้เชี่ยวชาญอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้ผลงานที่ผลิตได้จริง ผลการวิจัยพบว่าหุ่นโครงสร้างมีการเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพและคุณภาพ สามารถพัฒนารูปแบบสู่ระบบอุตสาหกรรมและนำไปใช้ได้จริง ทั้งนี้เพราะได้ใช้กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ 8 ข้อ (นวนน้อย บัญวงศ์, 2542) และเทคนิคการออกแบบแบบทวนซ้ำ (Iterative Design Process) (Kruchten, P., 2000) จำนวน 4 ครั้ง ดังรูป



ภาพ 137 กระบวนการออกแบบแบบทวนซ้ำในการวิจัย 4 ครั้ง (Iterative Design Process)
ที่มา: นิภัสรา บุรีเพ็ญ (2563)

วัตถุประสงค์ข้อ 2 เพื่อออกแบบและสร้างสรรค์หุ่น Armature และนำไปใช้สำหรับตัวละครแอนิเมชันสตอปโมชันผู้

จากการทดลองจัดทำทางและการเคลื่อนไหวในสตอปโมชันแอนิเมชัน ผู้วิจัยได้ทำการประกอบหุ่นโครงสร้างทั้ง 4 สัดส่วน โดยใช้วัสดุและโครงสร้างแบบเดียวกัน ข้อต่อส่วนต่าง ๆ มีอะลูมิเนียมและยาง TPU รองรับ เพื่อต่อการแอนิเมท หลังจากนั้นนำทั้ง 4 สัดส่วนมาจัดทำทางเพื่อทำการแอนิเมท พบว่า ทั้ง 4 สัดส่วนไม่สามารถยึนหรือทรงตัวได้ด้วยตัวมันเอง จำเป็นจะต้องมีฐานเหล็กมาช่วยเรื่องการทรงตัว ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบบุรุษสำหรับเชื่อมต่อกับฐาน Rig หรือฐานค้ำยันตัวละครจำนวน 10 จุด ได้แก่ ส่วนนอก 5 จุด และส่วนหัวหน้า 5 จุด เมื่อประกอบเข้ากับฐานแล้วจึงสามารถทรงตัวอยู่ได้

ได้ผลการประเมินตามแบบสอบถามข้อที่ ข้อ 6 ลักษณะโครงสร้างสามารถรองรับน้ำหนักลำตัว เพื่อให้สามารถดัดแปลงท่าทางให้หยุดนิ่งได้ มีผลประเมิน 4.0 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.58

และข้อ 12. การประยุกต์ใช้หุ่นโครงสร้างกับวัสดุห่อหุ้มประเภทชุดเกราะจากการพิมพ์สามมิติ (3D printing) มีผลประเมิน 4.0 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.58

วัตถุประสงค์ข้อ 3 เพื่อทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่นโครงสร้าง และสร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชัน สตอปโมชัน

วิจัยได้นำหุ่นโครงสร้างมาทดสอบโดยการขยับท่าทางเพื่อตรวจสอบความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และการเคลื่อนไหวในการผลิตแอนิเมชันสตอปโมชัน โดยนำ กฎ 12 ข้อของแอนิเมชัน มาใช้ทดสอบการเคลื่อนไหว ดังนี้

1. Squash and Stretch การยืดและการหดตัว
2. Timing and Spacing เวลาและที่ว่าง
3. Staging การลำดับเหตุการณ์
4. Solid drawing การวางรูปฟอร์มให้มีปริมาตร
5. Anticipatio การท่าเตรียม
6. Follow Through and Overlapping Action การตามของวัตถุ
7. Arcs เส้นโค้ง
8. Exaggeration การกระทำเกินจริง
9. Slow in and Slow out ค่อยๆเริ่มและค่อยๆหยุด
10. Secondary Action การกระทำรอง
11. Straight Ahead and Pose to Pose การเคลื่อนไหวไปเรื่อยๆและการเคลื่อนไหวแบบกำหนดท่าทางไว้ล่วงหน้า
12. Appeal บุคลิกและอุปนิสัย

มาใช้เป็นเกณฑ์ในการทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่นโครงสร้าง และเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามโดยผู้เชี่ยวชาญด้านแอนิเมชัน ผลการวิจัยพบว่าหุ่นโครงสร้าง รูปแบบสามส่วนซึ่งเป็นสัดส่วนที่เล็กที่สุด สามารถเคลื่อนไหวในแบบทั่วไปได้ เช่น เดิน วิ่ง นั่ง แต่ไม่สามารถเคลื่อนไหวท่าทางที่ซับซ้อนได้ เช่น นั่งขัดสมาธิ หรือ กอดอก ส่วนอีก 3 สัดส่วน ที่มีข้อต่อเพิ่มขึ้นมา มีการเคลื่อนไหวที่สมจริงได้ตามกฎ 12 ข้อของแอนิเมชัน เนื่องจากการออกแบบข้อต่อและการปรับขนาดสัดส่วนได้ตามร่างกายของตัวละคร ลักษณะโดยรวมของหุ่นโครงสร้างมีลักษณะแบบกึ่งก้าน ทำให้สะดวกในการนำวัสดุอื่นมาห่อหุ้มผิว สอดคล้องกับหลักในการออกแบบหุ่นโครงสร้างของ Stevina

Diva, and Dominika Anggraeni ว่า หุ่นโครงสร้าง คือ กระดูกหรือข้อต่อ เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเคลื่อนไหวของตัวละคร ควรได้รับการออกแบบตามสัดส่วนร่างกายของตัวละครนั้นๆ หุ่นโครงสร้างที่เล็กและเรียบง่าย จะทำให้ใช้วัสดุห่อหุ้มผิวน้อย เคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น (, 2002 #35)

ได้ผลการประเมินตามแบบสอบถามข้อที่ 14 ลักษณะและจำนวนของข้อต่อหุ่นโครงสร้างสามารถเคลื่อนไหวได้ตามกฎแอนิเมชัน 12 ข้อ มีผลประเมินที่มากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.53

และข้อ 16 หุ่นโครงสร้างสามารถนำมาออกแบบท่าทางได้อย่างอิสระ เช่น ฉีกขา ยึดตัว หดตัว มีการเคลื่อนไหวที่ดูสมจริง ที่ค่าเฉลี่ย 4.43 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.53 เป็นลำดับต่อมา

จุดเด่นและจุดด้อยของหุ่นโครงสร้าง Armature

จุดเด่น

- 1 ลักษณะและจำนวนของข้อต่อสามารถเคลื่อนไหวได้ตามกฎแอนิเมชัน 12 ข้อ
- 2 สามารถถอด ประกอบ และตัดแปรงท่าทางตามแบบที่ต้องการได้
- 3 ข้อต่อและข้อพับส่วนต่างๆ สามารถทำงานสตอปโมชันได้ดีและไม่หลุดง่าย

จุดด้อย

- 4 มีรูปขนาด 2.0 มิลลิเมตร สามารถต่อกับฐานค้ำยันได้หลายจุดเพื่อหลบมุมกล้องได้

จุดด้อย

1 เป็นเส้นพลาสติกที่ผลิตจากธรรมชาติ ทำให้การใช้งานมีอายุสั้น และแตกเปราะได้ตามกาลเวลา

2 การประยุกต์ใช้หุ่นโครงสร้างกับวัสดุห่อหุ้มประเภทซิลิโคน หรือ ประเภทต่างๆ ยังทำได้ยาก เนื่องจากข้อต่อมีแรงยึดเกาะน้อย คือสามารถทำได้เฉพาะกับตัวมันเองเท่านั้น

- 3 หุ่นโครงสร้างไม่ทนความร้อน เนื่องจากผลิตจากการพิมพ์สามมิติด้วยเส้นใยพลาสติก
- 4 รั้งน้ำหนักได้ไม่มาก หากต้องหยิบจับอะไร จะต้องมีฐานค้ำยันเสมอ
- 5 รองรับการท่าเคลื่อนไหวซ้ำๆ ได้ไม่มาก หากมีการบิดจับ หรือขยับซ้ำไปมาหลายครั้ง

สรุปผล

ผลการวิจัยพบว่า โดยรวมหุ่นโครงสร้างที่พัฒนาขึ้นมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงในระดับมาก ที่ค่าเฉลี่ย 4.29 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.76

สรุปได้ว่า การออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครสตอปโมชันแอนิเมชันมีประสิทธิภาพและคุณภาพ มีจุดเด่นที่การออกแบบข้อต่อ ทำให้ตัวละครมีการเคลื่อนไหวที่ดูสมจริงได้ และมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากผู้เชี่ยวชาญ ควรมีการพัฒนารูปแบบให้สามารถ

ดัดแปลงเป็นการเคลื่อนไหวของสัตว์สี่เท้าได้ และปรับปรุงให้ผลิตในระบบอุตสาหกรรมได้ จะเป็นประโยชน์ให้ผู้สนใจแอนิเมชันแบบสตอปโมชัน ได้เริ่มฝึกหัดการเคลื่อนไหวตัวละครในราคาประหยัด ทั้งยังเป็นการส่งเสริมธุรกิจแอนิเมชันในประเทศไทยอีกด้วย

ผลการวิเคราะห์ภาพรวมของแบบสอบถามที่ใช้เกณฑ์ค่าคะแนน 5 ระดับ

ผลการวิเคราะห์	ภาพรวม
คะแนนรวม	489
ค่าเฉลี่ย	4.11
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.61
C.V.(%)	14.96
แปลผล	มาก

ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ในการพัฒนาหุ่นโครงสร้างต่อไป ผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรมีการพัฒนาารูปแบบชิ้นส่วนให้สามารถดัดแปลงเป็นการเคลื่อนไหวของสัตว์สี่เท้าหรือสัตว์ประเภทใด
2. ควรปรับปรุงให้ผลิตในระบบอุตสาหกรรมได้ จะมีส่วนช่วยส่งเสริมในการทำแอนิเมชันสตอปโมชันมากขึ้น
3. การทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่นโครงสร้างในวิดีโอ ควรแสดงให้เห็นหุ่นที่ห่อหุ้มด้วยดินน้ำมันหรือวัสดุอื่นๆ จะทำให้งานสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และควรแสดงให้เห็นขั้นตอนการขยับหุ่นทีละเฟรม จะช่วยให้คนทั่วไปสัมผัสถึงการออกแบบของหุ่นที่สามารถทำงานได้อย่างเหมาะสม

บรรณานุกรม



ภาษาไทย

- กลุ่มงานพัฒนาและส่งเสริมธุรกิจบริการ2 สำนักพัฒนาและส่งเสริมธุรกิจบริการ (2561). **ธุรกิจแอนิเมชัน (Animation)**. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2562, จาก https://www.ditp.go.th/contents_attach/211768/211768.pdf.
- นิภัสรา บุรีเพ็ญ, วิสิษฐ จันมา. (2563). **การออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครสตอปโมชันแอนิเมชัน**. การประชุมวิชาการ วิจัย และงานสร้างสรรค์ศิลปกรรมสถาปัตยกรรม ครั้งที่ 5 การสร้างสรรค์ในยุคอับัติใหม่, พิษณุโลก, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- นวนน้อย บุญวงศ์. (2542). **หลักการออกแบบ**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุญเลิศ บุตรขาว (2528). **กายวิภาคฉบับนักศึกษาศิลปะ**. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ปรวัน แพทยานนท์ (2551). **การศึกษาลักษณะตัวละครในงานแอนิเมชัน**. สาขาวิชาศิลปะการแสดง คณะศิลปกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ไพโรจน์ ติรณธนากุล (2549). **ฟิลิกส์พื้นฐานกลศาสตร์**. กรุงเทพฯ, ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.
- วิสิษฐ จันมา, จิรวัดน์ พิระสันต์, รัฐพล ไชยรัตน์, และศุภรัถ สุวรรณวัจน์. (2561). **การพัฒนากระบวนการออกแบบภาพยนตร์การ์ตูนแอนิเมชันที่มีอัตลักษณ์ศิลปกรรมไทยร่วมสมัย**. วารสารวิชาการ ศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 9(มกราคม – มิถุนายน 2561).
- ศิริศักดิ์ สิริเกษมสุข (2551). **จลนศาสตร์และการควบคุมหุ่นยนต์โคบอทแขนกลสามมิติ**. คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล. (2559). **รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการสำรวจข้อมูลอุตสาหกรรมดิจิทัลคอนเทนต์ (แอนิเมชัน เกม และคาแรคเตอร์) ประจำปี 2559** Retrieved 25 มกราคม, 2561, from <https://www.depa.or.th/storage/app/media/file/digital-content.pdf>
- อนัน วาโซะ. (2561). **เริ่มต้นวาดการ์ตูนอย่างมืออาชีพด้วย illustration CC**. นนทบุรี: ซีเอ็ดบุ๊ค.
- Marketingoops. (2014). **ความสูงของชาวอาเซียน**. Retrieved 20 มกราคม 2562, from <https://www.marketingoops.com/reports/infographic-reports/tallest-country-in-asean>





ภาษาอังกฤษ

- Alger, J. (2012). **The Art and Making of PARANORMAN**. California, Chronicle Books.
- Bolas, M. (2015). **Discovering near-field VR: stop motion with a touch of light-fields and a dash of redirection**. ACM SIGGRAPH 2015 Computer Animation Festival. Los Angeles, California, Association for Computing Machinery: 193.
- Brostow, Gabriel J. และEssa, Irfan. (2001). **Image-based motion blur for stop motion animation**. Paper presented at the Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. <https://doi.org/10.1145/383259.383325>
- Extras, F. M. B. [YouTube]. (2016). **"Go Behind the Scenes of Kubo and the Two Strings stop-motion and voice production."** <https://www.youtube.com/watch?v=zHyTYL1Z1aM&t=199s>.
- Extras, F. M. B. [YouTube]. (2018). **"ISLE OF DOGS | "Making of: Puppets" Featurette."** <https://youtu.be/UtgOn5eXq5w>.
- Film, G. i. [YouTube]. (2016). **"The Art and Making of PARANORMAN."** Video. <https://youtu.be/Vhpq7-c911A>.
- Hayward, Dale. (2019). **Bone mother: the challenges of making an indie 3D printed film**. Paper presented at the ACM SIGGRAPH 2019 Talks, Los Angeles, California. <https://doi.org/10.1145/3306307.3328142>
- Hoskins, S. (2018). **3D Printing for Artists, Designers and makers**. London, Bloomsbury Visual Arts.
- Ikuma, J. (2009). **Stop Motion. Stop Motion Magazine California**, Chronicle Books: 6-62.
- Lord, Peter and Sibley, Brian and Animations, Aardman and Leitch, Michael and Park, Nick and Laing, Richard. (1998). **Creating 3-D animation: the Aardman book of filmmaking**. New York: Abrams, Harry N Inc.
- Mandojana, Jose. (2014). **GO BEHIND THE (CRAZY-COMPLEX) SCENES OF THE BOXTROLLS**. Retrieved 20 กุมภาพันธ์, 2562, from <https://www.wired.com/2014/09/boxtrolls-gallery>
- Priebe, Ken A. (2010). **The Advanced Art of stop-Motion Animation**. USA: Course Technology.




- Purves, B. J. C. (2014). **Basic Animation Stop-Motion Animation**. London, Bloomsbury Visual Arts.
- ScreenSlam [YouTube]. (2015). "**Anomalisa: Behind-the-Scenes B-Roll Part 1 - Charlie Kaufman, Duke Johnson.**" <https://www.youtube.com/watch?v=ODssMULQO44>.
- Shih, Randy H. (2018). **Learning Solidworks 2018 Modeling, Assembly, and Analysis**. Kansas: SDC Publications.
- Studio, LAIKA. (2018). **LAIKA | The Boxtrolls | Inside the Box**. In YouTube (Ed.).
- Tested, A. S. s. [YouTube]. (2018). "**The Clay in Stop-Motion Animation at Aardman Studios.**" Video. https://youtu.be/E5t_DXgZmFM.
- Tested, A. S. s. [YouTube]. (2018). "**The Stop-Motion Puppets of Aardman Animations.**" Video. <https://youtu.be/stSYs7a2UHE>.
- Thomas, F., & Johnston, O. (1981). **Disney animation: The illusion of life**. New York: Abbeville Press.
- Thompson, Frank. (1993). **Tim Burton's the Nightmare before Christmas** New York: United States.
- Tom, Brierton. (1957). **Stop-Motion Armature machining: a construction manual**. North Carolina: McFarland Publishing.
- Universal pictures UK [YouTube]. (2013). "**The Boxtrolls: Behind the Scenes Trailer.**" Video. <https://www.youtube.com/watch?v=Uc-6j6skJ-E>.

ภาคผนวก

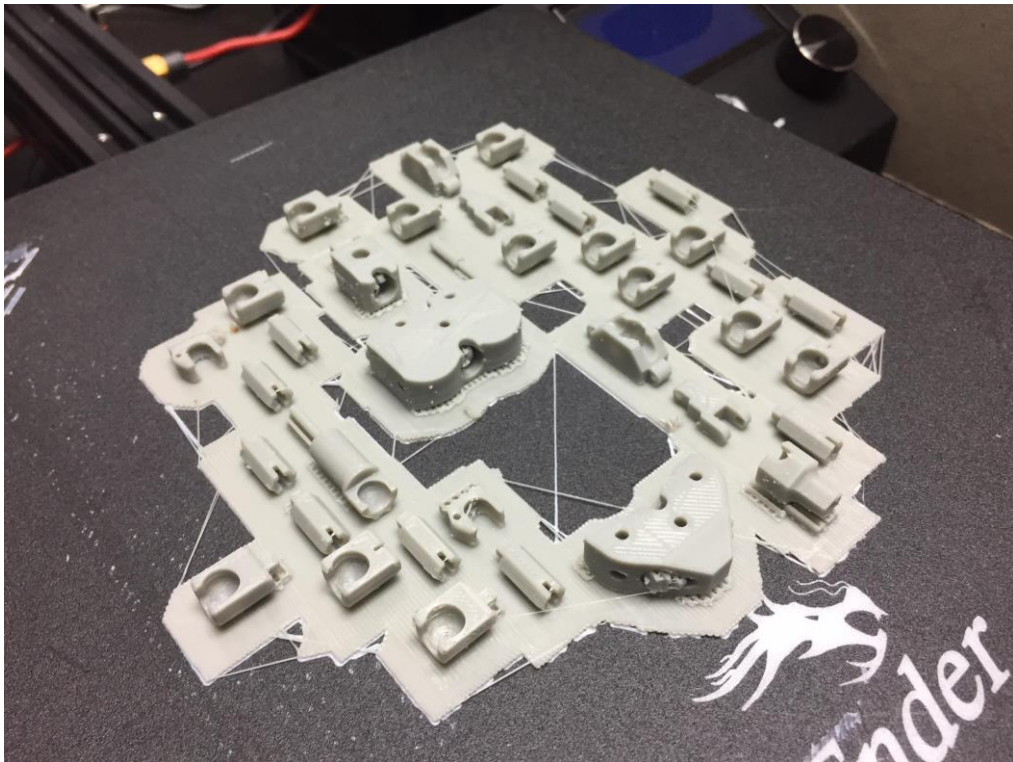
ตารางวิเคราะห์หุ่นโครงสร้าง Armature และสัดส่วน ของตัวละครหลักจากภาพยนตร์
สตอปโมชันจำนวน 10 เรื่อง

ตัวละคร	เรื่อง	สัดส่วนตัว ละคร	วัสดุที่ใช้ทำ Armature	ที่มา
	Wallace and Gromit 1989	5 ส่วน	อะลูมิเนียม และโลหะ	Making Of National Trust and Wallace and Gromit: https://youtu.be/i3CEE9xKKZc
	The Nightmare Before Christmas 1993	8 ส่วน	อะลูมิเนียม และโลหะ	Tim Burton's The Nightmare Before Christmas by Frank Thompson, 1993, หน้า 131
	Corpse Bride 2005	6 ส่วน	อะลูมิเนียม และโลหะ	Tim Burton's Corpse Bride
	ParaNorman 2012	3 ส่วน	อะลูมิเนียม และโลหะ	หนังสือ The Art and Making of PARANORMAN by Jed Alger(, #11@@hidden)

ตัวละคร	เรื่อง	สัดส่วนตัวละคร	วัสดุที่ใช้ทำ Armature	ที่มา
	The boxtrolls 2014	5 ส่วน	อะลูมิเนียม และโลหะ	Jose Mandojana, https://www.wired.com/2014/09/boxtrolls-gallery
	Coraline 2009 The boxtrolls 2014	4 ส่วน	อะลูมิเนียม และโลหะ	https://measure60studios.wordpress.com/2012/12/07/puppet-building-2-huey-wood-wire-and-metal-armature/coraline-puppet-and-armature
	Kubo And The Two Strings 2016	4 ส่วน	อะลูมิเนียม และโลหะ	Ryan Waniata, 2017 https://www.digitaltrends.com/movies/LAIKAcgi-3d-printing-stop-motion-kubo-and-the-two-strings

ตัวละคร	เรื่อง	สัดส่วนตัวละคร	วัสดุที่ใช้ทำ Armature	ที่มา
	Early Man 2017	4 ส่วน	อะลูมิเนียม และโลหะ	https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/0/04/Early_Man_Poster.jpg
	ISLE OF DOGS 2018	5 ส่วน	อะลูมิเนียม และโลหะ	https://www.imdb.com/title/tt5104604/mediaviewer/rm1739802624
	Missing Link 2019	8 ส่วน	อะลูมิเนียม และโลหะ หุ้ม ด้วยซิลิโคน	https://www.cnet.com/pictures/missing-link-step-inside-LAIKAs-epic-bigfoot-adventure/8

ภาพการทำงาน











แบบสอบถามและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้ตรวจสอบเครื่องมือ



แบบสอบถามครั้งที่ 1

แบบสอบถามการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง

การออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครแอนิเมชันสตีปโมชั่น
ผู้วิจัย นางสาว นิภัสรา บุรีเพี้ย หลักสูตร ศิลปกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาศิลปะและการ
ออกแบบ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก โทร. 097-1716363

Email nipatsarabureepia@gmail.com

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสิฐ จันมา อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบสื่อ
นวัตกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก

ข้อมูลสำหรับผู้ประเมินผลงาน

ชื่อ.....

ตำแหน่ง.....

สถานที่ทำงาน.....

ประสบการณ์ในการทำงาน

.....
.....
.....

1. ท่านสนใจเทคนิคในการทำงานประเภท Stopmotion บ้างหรือไม่

สนใจ

ไม่สนใจ

แอนิเมชันเทคนิค Stopmotion เรื่องใดที่ท่านชื่นชอบมากเป็นพิเศษ

2. ท่านเคยทดลองทำผลงานแอนิเมชัน Stopmotion บ้างหรือไม่

เคย

ไม่เคย

3. ท่านรู้จักเครื่องมือ Armature Stopmotion Animation (โครงกระดูกหรือหุ่น โครงสร้างสำหรับตัวละคร) หรือไม่

รู้จัก

ไม่รู้จัก

4. ท่านเคยทดลองผลิตหุ่นโครงสร้าง (Armature) หรือไม่

เคย

ไม่เคย

5. หุ่นโครงสร้าง (Armature) ที่ท่านเคยทดลองผลิตใช้วัสดุชนิดใด (ตอบมากกว่า 1 คำตอบ)

โครงสร้างลวด

โครงสร้างทองเหลือง

โครงสร้างไม้

โครงสร้างจากการพิมพ์สามมิติ

วัสดุ.....

โครงสร้างอลูมิเนียม

โครงสร้างเหล็ก

อื่นๆ.....

6. ท่านคิดว่าประเทศไทยควรมีการส่งเสริมการผลิตและสร้างสรรค์ผลงานแอนิเมชันประเภท Stopmotion หรือไม่

สมควรมากที่สุด

สมควร

ปานกลาง

สมควรน้อย

7. ถ้าท่านเคยทำงานออกแบบตัวละครสตั๊อปโมชัน วัสดุที่ใช้ทำผิวเนื้อตัวละคร ท่านคิดว่า ควรทำมาจากวัสดุใด

รายละเอียด

1. ดินญี่ปุ่น.....
2. ดินน้ำมัน.....
3. ดินปั้นอื่นๆ.....
4. เรซิน.....
5. ซิลิโคน.....

ส่วนที่ 2 เป็นการทำแบบสอบถามการประเมินผลของผู้เชี่ยวชาญหลังจากทดสอบ ทดลองใช้ หุ่น โครงสร้างตัวละครสำหรับภาพยนตร์แอนิเมชันเทคนิคสตั๊อปโมชัน

คำชี้แจง : โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ และเขียนข้อความในช่องว่างที่ตรงกับความเห็นของท่านมากที่สุด โดย

กรุณาให้ความเห็นในส่วนแบบสอบถามในตารางดังกล่าวนี้

ความหมายของระดับผลการประเมิน

- 5 หมายถึงเหมาะสมในระดับมากที่สุด
- 4 หมายถึงเหมาะสมในระดับมาก
- 3 หมายถึงเหมาะสมในระดับปานกลาง
- 2 หมายถึงเหมาะสมในระดับน้อย
- 1 หมายถึง เหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
1.	การออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครแอนิเมชันสตั๊อปโมชัน						
	1.1การออกแบบพัฒนาคุณสมบัติของหุ่นโครงสร้าง						

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
	ลักษณะโดยทั่วไปทางกายภาพ						
	1.2 การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม						
	1.3 การใช้งานโดยทั่วไปเหมาะสม						
	1.4 ความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน						
	1.5 ความปลอดภัยเหมาะสมต่อผู้ใช้งาน						
.2	ลักษณะการใช้งานของหุ่นโครงสร้าง Armature เพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครแอนิเมชั่นสตอปโมชัน						
	2.1 มีกระบวนการขั้นตอนที่สามารถนำไปใช้งานได้เหมาะสม						
	2.2 มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง						
	2.3 การประกอบชิ้นส่วนง่ายต่อการใช้งาน						
	2.4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับตัว						

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
	ละครที่ใช้ผิวห่อหุ้มได้						
3	ส่วนของการกำหนดท่าทางการเคลื่อนไหว ภาพยนตร์แอนิเมชัน						
	3.1 หุ่นโครงสร้าง Armature จัดแสดงท่าทางให้เป็นไปตามความต้องการของนักออกแบบ						
	3.2 วัสดุมีความเหมาะสมกับเทคนิคการทำงานสต็อปโมชัน						
	2.2.3 ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนท่าทาง การหดตัว การคืนรูป คุณสมบัติการจัดท่าทางของหุ่นโครงสร้าง Armature						
	2.3.4 เทคนิคภาพเคลื่อนไหว สต็อปโมชันมีความเหมาะสม						
4	มาตรฐานการผลิตและพัฒนาหุ่นโครงสร้าง Armature เพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครแอนิเมชันสต็อปโมชัน ด้วยเทคนิคพิมพ์ 3 มิติ						

ลำดับ	รายการประเมิน	ระดับผลการประเมิน					ข้อควรปรับปรุง
		5	4	3	2	1	
	4.1 มีมาตรฐานเหมาะสม และมีความเป็นไปได้ในการผลิตด้วยระบบอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม						
	4.2 สามารถส่งต่อในรูปแบบไฟล์ 3 มิติให้ผู้ใช้ทั่วไปได้ ทดสอบพิมพ์เป็นชิ้นงานได้						

ท่านคิดว่างานวิจัย การออกแบบและพัฒนาหุ่นโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสรรค์ตัวละครแอนิเมชันสต็อปโมชัน มีความเหมาะสมหรือไม่

- เหมาะสมดี
- เหมาะสม
- พอใช้
- ไม่เหมาะสม

แบบสอบถามครั้งที่ 2

ตารางวิเคราะห์ผลแบบสอบถามครั้งที่ 2
การให้คะแนนคำถามทั้ง 17 ข้อ

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	ข้อที่ 1	ข้อที่ 2	ข้อที่ 3	ข้อที่ 4	ข้อที่ 5	ข้อที่ 6	ข้อที่ 7	ข้อที่ 8	ข้อที่ 9	ข้อที่ 10	ข้อที่ 11	ข้อที่ 12	ข้อที่ 13	ข้อที่ 14	ข้อที่ 15	ข้อที่ 16	ข้อที่ 17
คนที่ 1	5	5	5	5	5	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	4	5
คนที่ 2	5	4	5	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	5	4	5	4
คนที่ 3	4	4	5	5	4	4	4	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5
คนที่ 4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	5	5	5	4
คนที่ 5	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3	3	3	4	4	3	4	4
คนที่ 6	4	5	4	5	4	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5
คนที่ 7	3	3	3	3	2	3	3	1	1	4	2	4	3	4	4	4	3

การวิเคราะห์ผลทั้งหมด

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
ผลการวิเคราะห์	ข้อที่ 1	ข้อที่ 2	ข้อที่ 3	ข้อที่ 4	ข้อที่ 5	ข้อที่ 6	ข้อที่ 7	ข้อที่ 8	ข้อที่ 9	ข้อที่ 10	ข้อที่ 11	ข้อที่ 12	ข้อที่ 13	ข้อที่ 14	ข้อที่ 15	ข้อที่ 16	ข้อที่ 17
จำนวนคน	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
คะแนนรวม	29	29	30	30	26	28	28	27	28	27	28	28	29	32	29	31	30
คะแนนค่าสูงสุด	3	3	3	3	2	3	3	1	1	3	2	3	3	4	3	4	3
คะแนนสูงสุด	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ค่าเฉลี่ย	4.14	4.14	4.29	4.29	3.71	4.00	4.00	3.86	4.00	3.86	4.00	4.00	4.14	4.57	4.14	4.43	4.29
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.69	0.69	0.76	0.76	0.95	0.58	0.58	1.46	1.41	0.69	1.15	0.58	0.69	0.53	0.69	0.53	0.76
C.V.(%)	16.66	16.66	17.64	17.64	25.61	14.43	14.43	37.95	35.36	17.89	28.87	14.43	16.66	11.69	16.66	12.07	17.64
แปดผล	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มากที่สุด	มาก	มาก	มาก
วิเคราะห์คุณภาพเครื่องมือ	ข้อที่ 1	ข้อที่ 2	ข้อที่ 3	ข้อที่ 4	ข้อที่ 5	ข้อที่ 6	ข้อที่ 7	ข้อที่ 8	ข้อที่ 9	ข้อที่ 10	ข้อที่ 11	ข้อที่ 12	ข้อที่ 13	ข้อที่ 14	ข้อที่ 15	ข้อที่ 16	ข้อที่ 17
ค่าอำนาจจำแนก	0.74	0.81	0.78	0.85	0.90	0.69	0.69	0.97	0.87	0.33	0.94	0.31	0.81	0.58	0.34	0.42	0.85
Sig	0.06	0.03	0.04	0.01	0.01	0.09	0.09	0.00	0.01	0.47	0.00	0.50	0.03	0.17	0.46	0.35	0.01
แปดผล	no	yes	yes	yes	yes	no	no	yes	yes	no	yes	no	yes	no	no	no	yes
ค่าความเชื่อมั่น มีค่าเท่ากับ 0.9452	หมายเหตุ: ค่าอำนาจจำแนกแบบ Item Total Correlation และค่าความเชื่อมั่นแบบปรอทใช้วิธีอันดับ																

ผลการวิเคราะห์

กลุ่มตัวอย่าง คนที่	ผลการวิเคราะห์				
	จำนวนข้อที่ตอบ	คะแนนรวม (Sum.)	ค่าเฉลี่ย (Mean : \bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (%) (C.V.)
1	17	77	4.53	0.51	11.36
2	17	76	4.47	0.51	11.51
3	17	75	4.41	0.51	11.50
4	17	70	4.12	0.49	11.78
5	17	62	3.65	0.49	13.51
6	17	79	4.65	0.49	10.60
7	17	50	2.94	0.97	32.86

เกณฑ์ในการให้คะแนน

เกณฑ์ค่าคะแนนที่ใช้	ช่วงคะแนน		
	ระดับ ความคิดเห็น	ต่ำสุด	สูงสุด
	น้อยที่สุด	1.00	1.50
น้อย	1.51	2.50	
ปานกลาง	2.51	3.50	
มาก	3.51	4.50	
มากที่สุด	4.51	5.00	