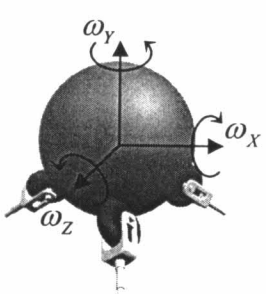
บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างหุ่นยนต์โคบอทแขนกลสามมิติ

บทนี้กล่าวถึงการออกแบบหุ่นยนต์โคบอทแขนกลสามมิติ โดยในงานวิจัยได้ทำการนำหลักการของหุ่นยนต์โคบอทก้านควบคุม (Joystick Cobot) มาประยุกต์ให้สามารถที่จะมีพื้นที่การทำงานร่วมกับมนุษย์ได้ 3 องศาอิสระ (Degree of freedom) แบบเชิงเส้นในพิกัดคาร์ทีเซี่ยนตามแนวแกน X, Y, Z โดยในรายละเอียดเราจะกล่าวได้ดังนี้

3.1 แนวความคิดในการออกแบบ

จากหลักการของหุ่นยนต์โคบอทก้านควบคุม ที่ได้นำชุดอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนอัตราทดแบบต่อเนื่องเชิงเส้นจำนวน 3 ชุด มาต่อเข้ากับรูปทรงกลมดังในรูปที่ 3.1 ทำให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่เชิงมุมของทรงกลมได้ทั้ง 3 ทิศทาง (roll, picth, yaw) ในงานวิจัยนี้ต้องการหุ่นยนต์โคบอทที่สามารถให้พื้นที่การทำงานแบบเชิงเส้นบนพิกัดคาร์ทีเซี่ยนตามแนวแกน X, Y, Z ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำกลไกแบบแขนกลมาประยุกต์เข้ากับหุ่นยนต์โคบอทแบบก้านควบคุม โดยลักษณะของแขนกลจะต้องมีจำนวนของข้อต่อจะเท่ากับจำนวนข้อต่อของทรงกลมที่มี 3 องศาอิสระ

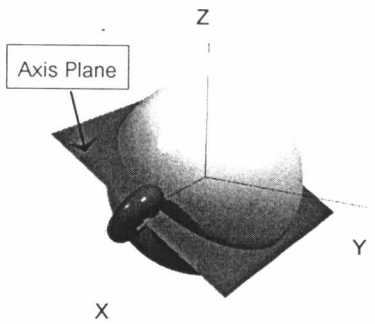


รูปที่ 3.1 การวางอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนอัตราทดแบบต่อเนื่องเชิงเส้นจำนวน 3 ชุดของหุ่นยนต์โคบอทก้านควบคุม

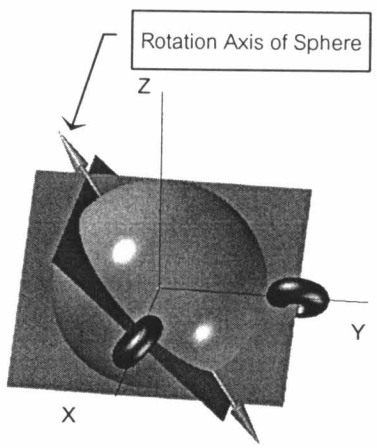
3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนอัตราทดแบบต่อเนื่องเชิงเส้นกับทรงกลม

เพื่อให้เข้าใจการออกแบบชุดอุปกรณ์นี้ ในหัวข้อนี้เราจะขอนำเสนอหลักการเบื้องต้นของชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของทรงกลม เริ่มจากเมื่อเรานำอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนอัตราทดแบบต่อเนื่องเชิงเส้น หรือลูกล้อลูกหนึ่งมาต่อเข้ากับทรงกลมที่ตรึงจุดศูนย์กลางของทรงกลมเอาไว้ (ทรงกลมไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่เชิงเส้นได้แต่สามารถที่จะหมุนรอบแกนหมุนใดๆที่ผ่านจุดศูนย์กลางของทรงกลม) แกนหมุนของทรงกลมจะต้องอยู่บนระนาบที่แสดงในรูป 3.2 เท่านั้นและตำแหน่งของระนาบ

นี้จะขึ้นอยู่กับจะตำแหน่งของมุมของล้อว่าอยู่ตำแหน่งใด จากคุณสมบัติดังกล่าวของระนาบนี้เราจะขอเรียกระนาบนี้ว่า ระนาบแกนหมุน (Axis Plane)



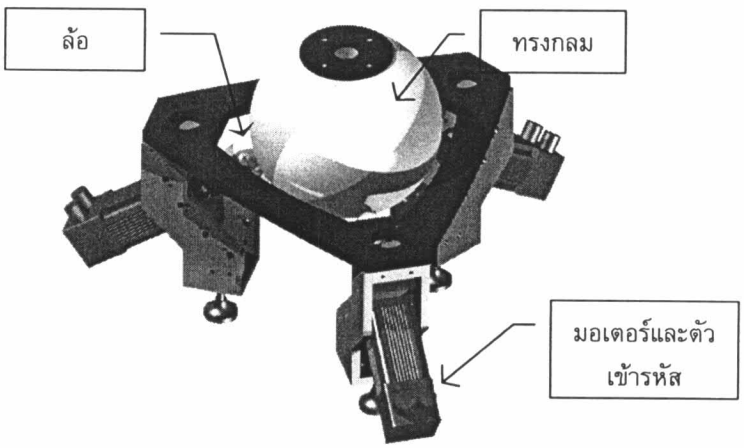
รูปที่ 3.2 ก. ระนาบแกนหมุน



รูป 3.2 ข. แกนหมุนที่เกิดจากตัดกันของสองระนาบ

จะเห็นได้ว่าล้อเพียงล้อเดียวจะสามารถสร้างระนาบแกนหมุนได้เพียงระนาบเดียว ซึ่งยังไม่สามารถที่จะบังคับการเคลื่อนที่ที่แน่นอนของทรงกลมได้ เมื่อเพิ่มล้อเข้าไปอีกหนึ่งล้อ ณ ตำแหน่งใดๆบนทรงกลมที่ไม่ทับตำแหน่งกับล้อก่อนหน้า ดังนั้นก็จะเกิดระนาบแกนหมุน 2 ระนาบที่ตัดกัน ณ ตำแหน่งที่ระนาบทั้งสองตัดกันนี้จะเกิดเส้นตรงเส้นหนึ่งขึ้น ซึ่งเส้นตรงที่เกิดขึ้นนี้ก็คือแกนหมุนของทรงกลมนั่นเอง ทำให้เราสามารถที่จะบังคับการเคลื่อนที่ของทรงกลมได้ด้วยการบังคับตำแหน่งมุมของล้อทั้งสองที่บิดไปเท่านั้น แต่ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบโดยใช้ล้อจำนวน 3 ลูกวางในลักษณะทำมุมกัน 90 องศาดังแสดงในรูปที่ 3.3 เหตุผลที่มีล้อที่ 3 เพิ่มขึ้นมาเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดซิงกูลาลิตี (Singularities) ของระบบ(เกิดขึ้นเมื่อระนาบทับเป็นระนาบเดียวกัน) ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งของการมีล้อจำนวน 3 ลูกก็คือทำให้เราสามารถที่จะตรึงตำแหน่งจุดศูนย์กลางของทรงกลมได้ง่ายขึ้น และสามารถรับน้ำหนักของทรงกลมเอง

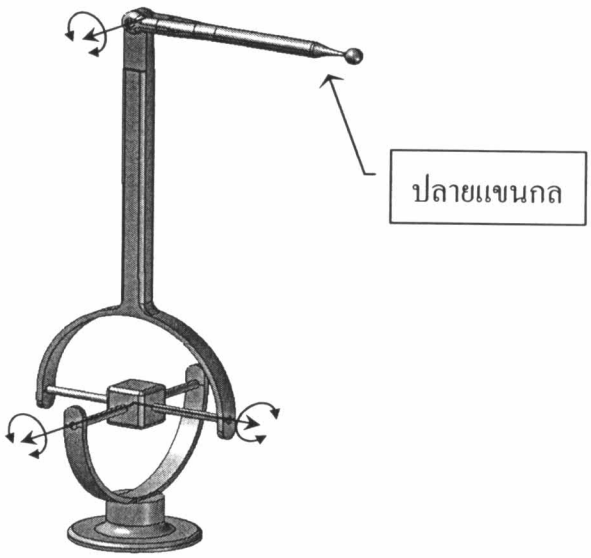
เนื่องจากการเคลื่อนที่ของทรงกลมนั้นจะเกิดจากการหมุนรอบแกนหมุนที่ผ่านจุดศูนย์กลางของทรงกลมเท่านั้น ในความเป็นจริงการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ประยุกต์ใช้งานได้จำกัด ในการออกแบบหุ่นยนต์โคบอทสามมิตินี้เปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมของทรงกลม(roll, picth, yaw) เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นใน 3 มิติ (x y z) โดยจะอาศัยกลไกแบบแขนกลมาประยุกต์เข้ากับทรงกลม ซึ่งแขนกลและรายละเอียดของระบบส่งกำลังได้กล่าวไว้ในหัวข้อต่อไป



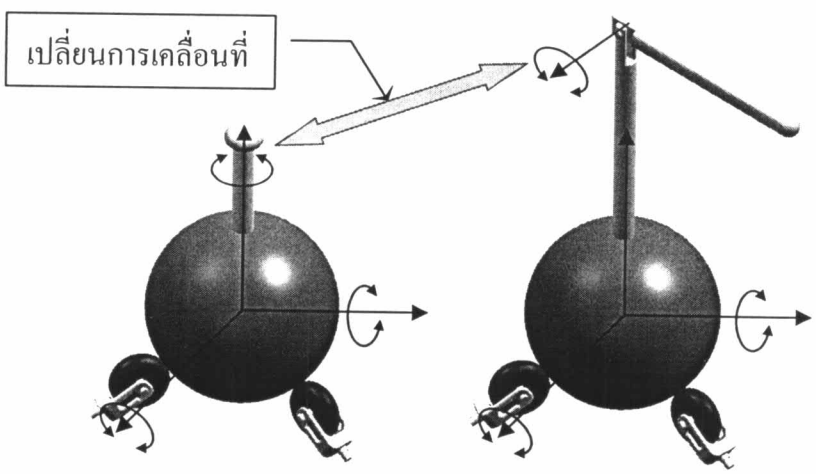
รูปที่ 3.3 การออกแบบหุ่นยนต์โคบอทสามมิติที่รวมชุดซีวีทีทรงกลม และชุดฐาน

3.3 การออกแบบแขนกลและระบบส่งกำลัง

จากการเคลื่อนที่ของทรงกลมทำให้เราสามารถออกแบบแขนกลให้มีลักษณะที่มีข้อต่อจำนวน 3 ข้อต่อดังรูปที่ 3.4 โดยสองข้อต่อแรกจะอยู่บริเวณจุดกึ่งกลางของทรงกลมตัดกันเป็นมุม 90° ส่วนข้อต่ออีกตัวจะมีลักษณะแบบข้อศอกทำให้ปลายแขนกลสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 องศาอิสระ x, y และ z ในการออกแบบเช่นนี้ทำให้สองข้อต่อแรกคือแกนหมุนของทรงกลมโดยตรง และข้อต่อที่สามจำเป็นต้องออกแบบชุดส่งกำลังที่เปลี่ยนการหมุนในแนวดิ่งของทรงกลมไปเป็นแกนหมุนของข้อต่อที่สาม (ข้อต่อแบบข้อศอก) ของแขนกลดังแสดงรูปที่ 3.5

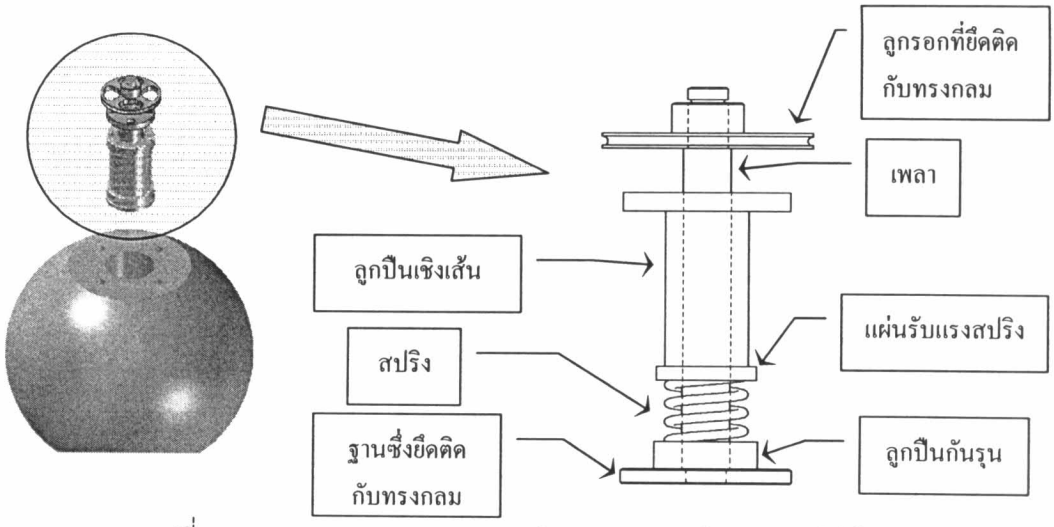


รูปที่ 3.4 ลักษณะกลไกของแขนกลที่มี 3 ข้อต่อ



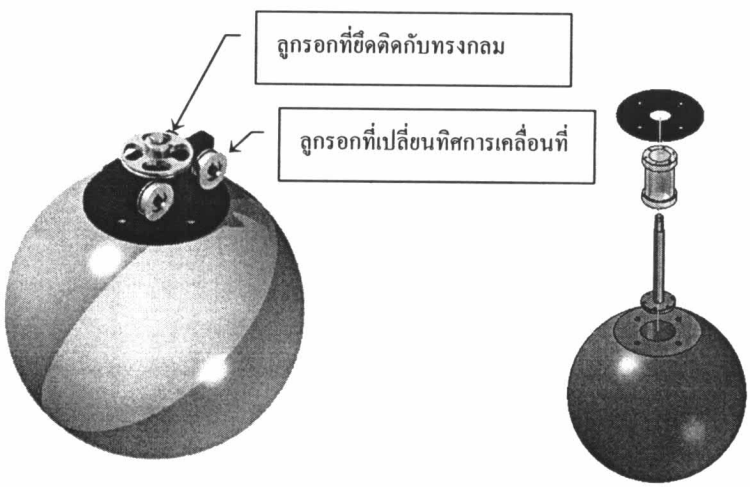
รูปที่ 3.5 ลักษณะการติดตั้งแขนกลเข้ากับทรงกลม

ในลักษณะการออกแบบดังกล่าว จำเป็นต้องมีกลไกชุดหนึ่งที่จะต้องทำให้ก้านต่อแรกของแขนกลที่มี 2 องศาอิสระสามารถต่อเข้ากับทรงกลมของชุดซีวีทีที่มี 3 องศาอิสระได้ งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ลูกปืนแบบเชิงเส้น (Linear Bearing) ซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นลงและหมุนรอบตัวเองได้มาช่วยในการทำงาน ชุดกลไกการทำงานนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ในรูปนี้ส่วนที่เป็นฐาน เพลา และลูกรอกจะยึดติดกัน ทำให้ส่วนประกอบทั้งสามจะเคลื่อนที่ไปด้วยกัน และในส่วนของลูกปืนเชิงเส้นแผ่นรับแรงสปริง สปริงจะถูกยึดติดและเคลื่อนที่ไปพร้อมกับแขนกล ในส่วนของสปริงที่ผู้วิจัยได้ใส่เข้าไปในการออกแบบนี้ เนื่องจากสปริงส่วนนี้จะสร้างแรงกดให้ล้อและทรงกลม เพื่อให้แรงเสียดทานของทั้งสองสูงขึ้น

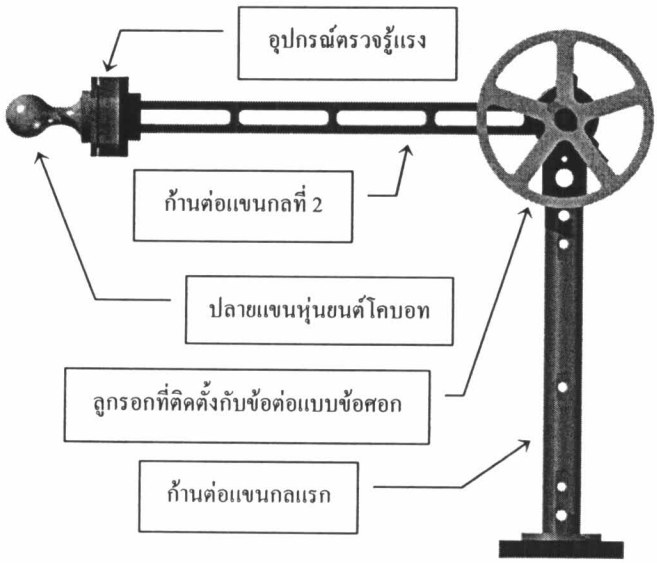


รูปที่ 3.6 การออกแบบชุดลดองศาอิสระและชุดสร้างแรงกดให้ล้อ

การเคลื่อนที่หนึ่งองศาอิสระของทรงกลม (การหมุนในแนวดิ่ง) ที่ต้องส่งกำลังไปที่ข้อต่อแบบข้อศอกของแขนกล ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้การส่งกำลังแบบเคเบิลซึ่งจะทำให้ระบบโดยรวมมีน้ำหนักน้อยและยังเหมาะกับการเปลี่ยนทิศในการเคลื่อนที่แบบ 90° อีกด้วย ในการออกแบบชุดส่งกำลังที่ติดกับทรงกลมสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.7 และในส่วนที่ติดตั้งอยู่บนแขนกลได้แสดงในรูปที่ 3.8

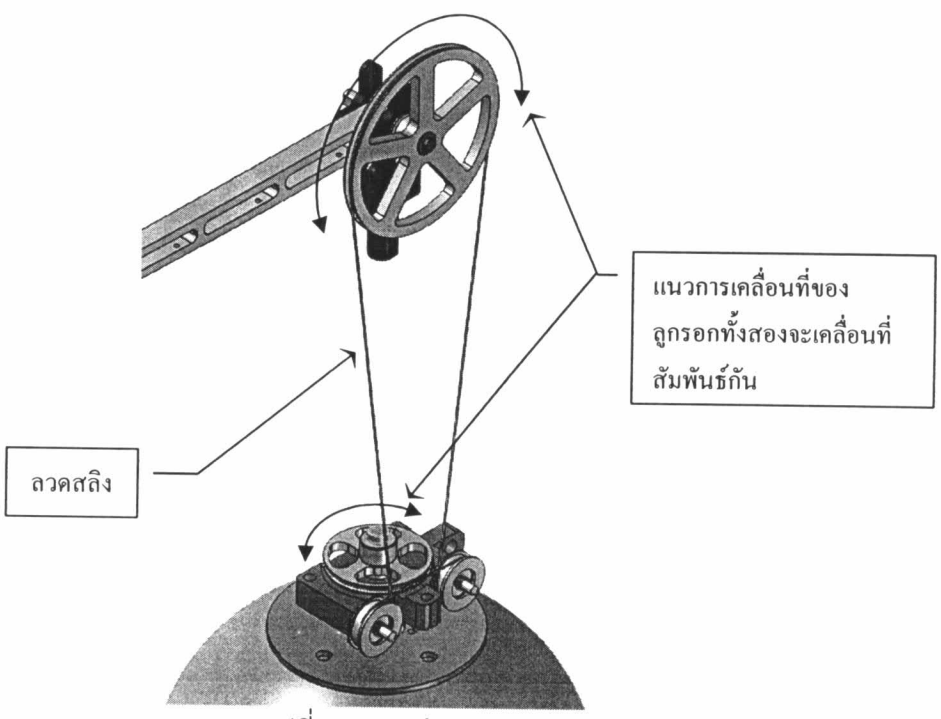


รูปที่ 3.7 ลักษณะการออกแบบชุดส่งกำลังที่ติดตั้งกับทรงกลม



รูปที่ 3.8 ลักษณะของแขนกลและชุดส่งกำลังที่ติดตั้งบนแขนกล

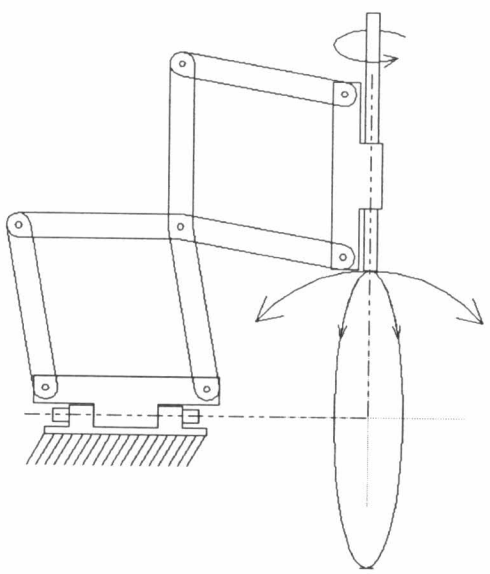
ลักษณะของชุดส่งกำลังที่ใช้ลวดสลิงจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ลวดสลิงจะถูกลอดผ่านลูกรอกที่ติดตั้งบนแขนกล จากนั้นไปที่ลูกรอกชุดเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่ ซึ่งลวดสลิงจะถูกเปลี่ยนทิศทาง 90 องศา ที่ลูกรอกนี้ จากนั้นไปที่ลูกรอกที่ยึดติดกับทรงกลมแล้วไปที่ลูกรอกชุดเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่อีกชุดหนึ่ง แล้วจึงกลับไปที่ลูกรอกที่ติดตั้งบนแขนกลอีกทีหนึ่ง ในการขึงลวดสลิงแบบนี้จะเห็นได้ว่าจะสามารถที่จะเปลี่ยนการเคลื่อนที่จากทรงกลมไปเป็นการเคลื่อนที่ของก้านต่อที่สองของแขนกลได้



รูปที่ 3.9 การทำงานของชุดส่งกำลัง

3.4 การออกแบบชุดจับยึดแขนกล

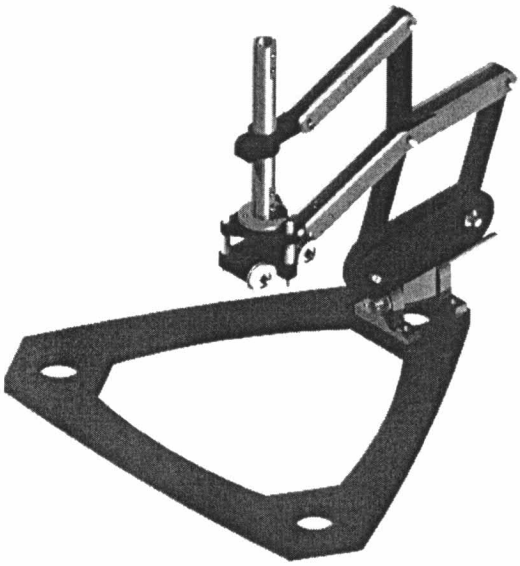
ลักษณะการเคลื่อนที่ของทรงกลมจะหมุนรอบจุดศูนย์กลางของตัวเองตามแกนหมุนที่ถูกกำหนดโดยล้อทั้งสาม ความยืดหยุ่นและความแข็งของล้อทั้งสามมีผลต่อการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางของทรงกลม ดังนั้นในการนำแขนกลมาต่อเข้ากับทรงกลม ผู้วิจัยจึงได้แก้ปัญหานี้โดยการเพิ่มชุดกลไกที่แยกความผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางของทรงกลมกับแขนกลและสามารถจำกัดการเคลื่อนที่ของก้านต่อแขนกลแรกให้เป็นไปในลักษณะที่ออกแบบไว้ จากการศึกษาของผู้วิจัยพบว่ากลไกแบบหลายข้อต่อที่สามารถเคลื่อนที่แบบทรงกลมหรือกลไกข้อต่อแบบซีเอ็มเอ็ส (CMS Joint: Concentric Multilink Spherical) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ที่ได้นำเสนอโดย Gregory J.Hamlin และ A. C. Sanderson นั้นเหมาะสมที่จะนำมาเป็นชุดกลไกที่สามารถจำกัดการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.10 กลไกข้อต่อแบบซีเอ็มเอ็ส ที่มา: จาก [18]

ในการนำข้อต่อแบบซีเอ็มเอ็สไปประยุกต์เข้ากับแขนกลเราจะทำการตรึงแกนหมุน 1 แกนของชุดข้อต่อแบบซีเอ็มเอ็ส จากนั้นนำข้อต่อแบบซีเอ็มเอ็สที่ถูกตรึงแกนหมุนไว้แล้วนำไปต่อกับฐานหุ่นยนต์โคบอทกับก้านต่อแขนกลแรก

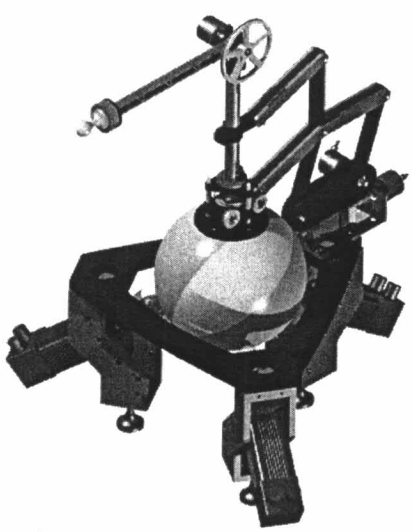
ชุดกลไกนี้จะสามารถจะช่วยทำให้การทำงานของหุ่นยนต์โคบอทนี้มีความมั่นคงปลายแขนกลจะมีความแข็งแรง อีกทั้งเรายังสามารถที่จะใส่สปริงเข้าไประหว่างทรงกลมกับแขนกลเพื่อที่จะควบคุมแรงเสียดทานระหว่างทรงกลมกับชุดซีวีทีขึ้นอีกด้วย ซึ่งชุดจับยึดแขนกลที่ได้ออกแบบไว้ได้แสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ชุดพยุงแขนกลของหุ่นยนต์โคบอทแขนกลสามมิติ

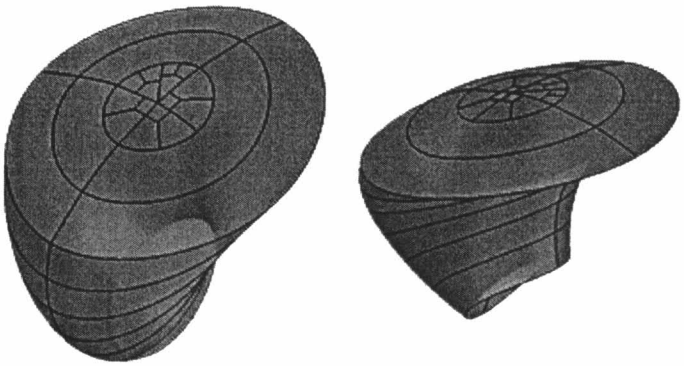
3.5 สรุปโครงสร้างหุ่นยนต์โคบอทแขนกลสามมิติ

จากการออกแบบส่วนต่างๆ เราจะได้หุ่นยนต์โคบอทแขนกลสามมิติดังแสดงในรูป 3.12 โดยจะเป็นหุ่นยนต์โคบอทที่ปลายแขนสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้ในพื้นที่การทำงานแบบเชิงเส้น ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 องศาของความอิสระ หุ่นยนต์โคบอทแขนกลสามมิติตัวนี้จะอาศัยชุดซีวีทีเชิงเส้นต่อเข้ากับทรงกลม



รูปที่ 3.12 หุ่นยนต์โคบอทแขนกลสามมิติ

พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์โคบอทแขนกลสามมิติจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.13 ซึ่งจะมีขนาดประมาณ 1.5 ลูกบาศก์ฟุต

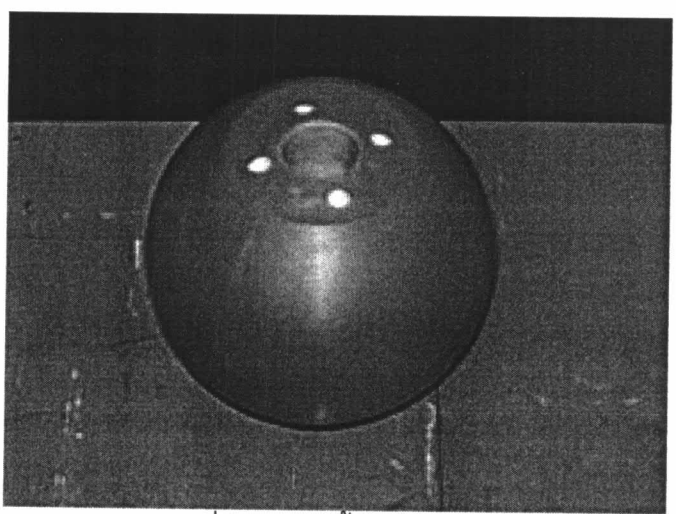


รูปที่ 3.13 พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์โคบอทแขนกลสามมิติ

3.6 การสร้างและการประกอบ

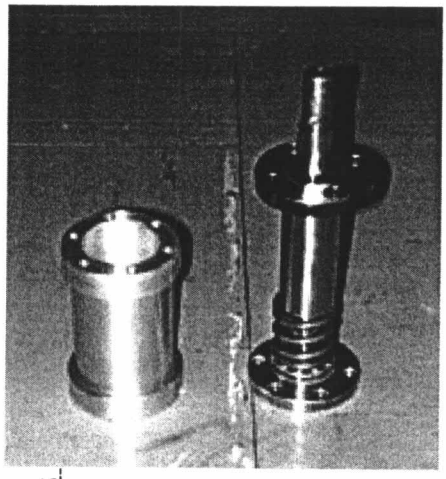
ในการออกแบบส่วนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่ามีรายละเอียดค่อนข้างมาก ดังนั้นในการสร้างจึงจะต้องวางแผนในการเลือกวัตถุดิบ การขึ้นรูป และการประกอบอย่างดีดังจะแสดงในรายละเอียดต่อไป

จากการออกแบบทรงกลมทางผู้วิจัยได้เลือกใช้วัตถุดิบคือ ลูกโบว์ลิ่งขนาด 8.5 นิ้ว น้ำหนัก 8 ปอนด์ จากนั้นนำไปผ่านการ กัดและเจาะ ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.14



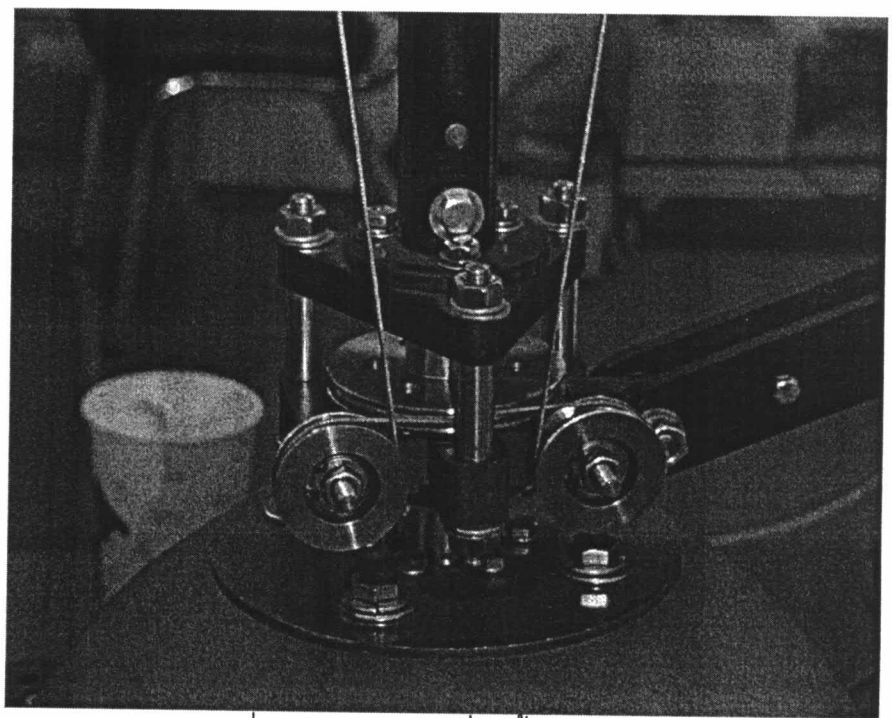
รูปที่ 3.14 การขึ้นรูปทรงกลม

ในแกนกลางของทรงกลมที่ได้แสดงการออกแบบไว้แล้วนั้น เราเลือกวัสดุของเปลือกแกนกลางเป็นอลูมิเนียม ส่วนเพลาและฐานนั้นจะใช้วัสดุเป็นสแตนเลส ในรูปที่ 3.15 จะแสดงการประกอบชุดแกนกลางทรงกลม ของลูกปืนเชิงเส้น สปริง ลูกปืนกันรุน



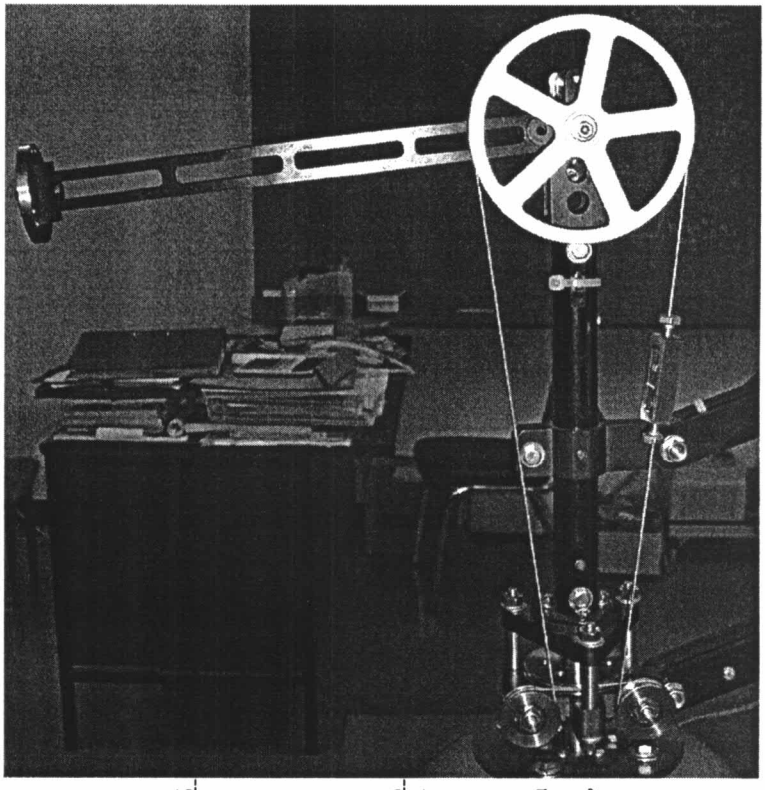
รูปที่ 3.15 ชุดแกนกลางของทรงกลม

จากนั้นเราก็ทำการสร้างชุดส่งกำลังที่ติดตั้งกับทรงกลมในชุดนี้จะมีลูกรอกจำนวน 3 ลูก ซึ่งติดตั้งอยู่บนชิ้นงานที่ทำจากอลูมิเนียม มีเสาจำนวน 3 เสายื่นออกมาติดกับแขนกลก้านต่อแรก จะสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.16



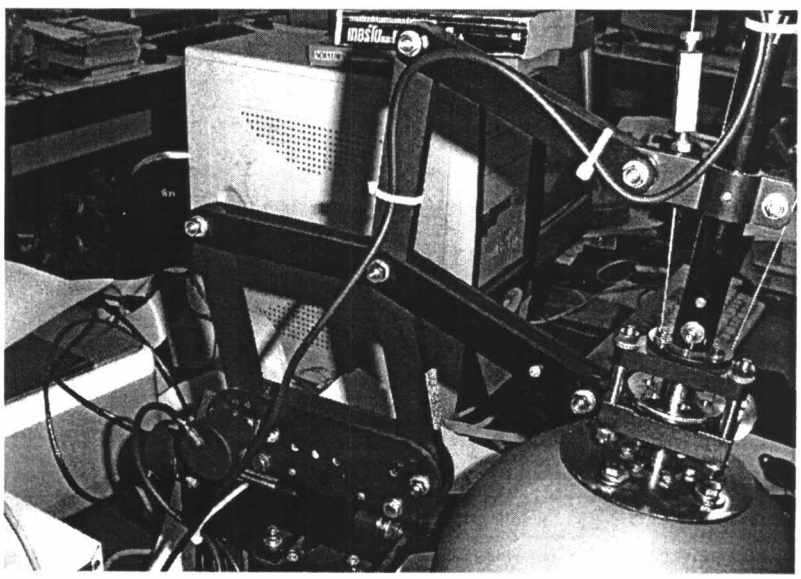
รูปที่ 3.16 ชุดส่งกำลังที่ติดตั้งบนทรงกลม

ในส่วนของแขนกลก้านต่อแรกได้เลือกใช้ท่ออลูมิเนียมขนาด 1 นิ้ว หนา 3 มม. ชุปอะโนไดซ์สีดำ ก้านต่อที่ 2 ใช้วัสดุทำจากอลูมิเนียมทำการขึ้นรูปโดยการใช้ไวร์คัต (wire cut) ก้านต่อทั้งสองจะถูกต่อด้วยข้อต่อที่มีลักษณะเป็นแบบข้อศอก บนข้อต่อแบบข้อศอกนี้จะติดตั้งลูกรอกที่จะส่งกำลังก้านต่อที่สอง เมื่อประกอบส่วนต่างๆแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ชุดแขนกลที่ประกอบเสร็จแล้ว

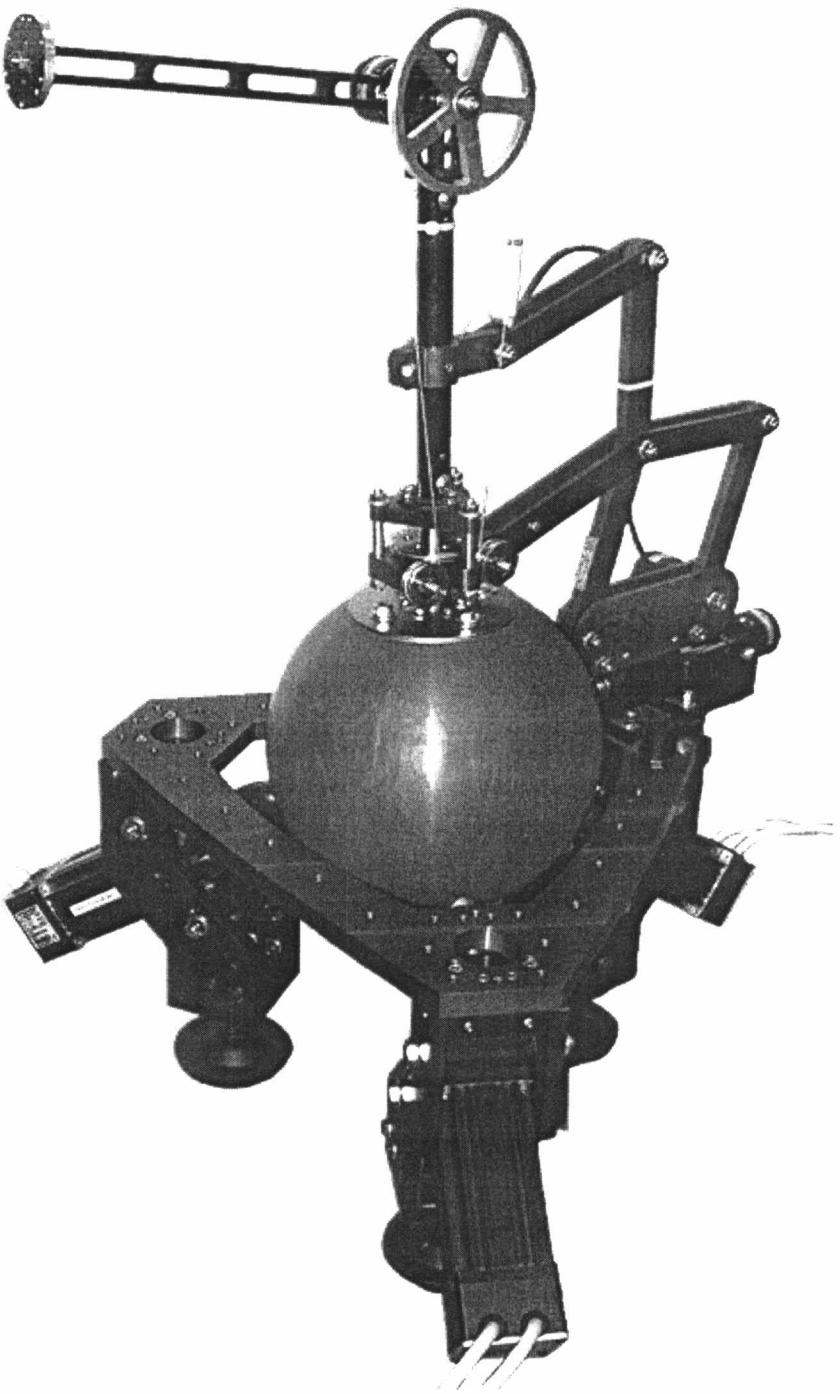
การสร้างชุดจับยึดแขนกล วัสดุหลักที่ๆได้เลือกนำมาใช้จำเป็นที่จะต้องน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูงเนื่องจากชุดจับยึดแขนกลนี้จะต้องรับภาระที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงได้เลือกใช้วัสดุเป็น อลูมิเนียมอัลลอย เบอร์ 7075 เป็นวัสดุหลัก มาทำเป็นกลไกหลายก้านต่อ เมื่อประกอบเสร็จแล้วจะสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ชุดจับยึดแขนกลที่ประกอบเสร็จแล้ว

รูปที่ 3.19 การจับยึดชุดซีวีที

ในส่วนของชุดซีวีทีแบบเชิงเส้น จะถูกจับยึดด้วยตัวถัง (Body) ที่ทำมาจากอลูมิเนียม ส่วนย่อยๆ นำมาประกอบกัน โดยตัวถังจะจับยึดมอเตอร์ของชุดซีวีที เพื่อให้ตำแหน่งของชุดซีวีที อยู่ในตำแหน่งที่ออกแบบไว้ ในรูปที่ 3.19 จะแสดงการจับยึดชุดซีวีทีแบบเชิงเส้นจำนวนหนึ่งชุด



รูปที่ 3.20 หุ่นยนต์โคบอทสามมิติที่ประกอบเสร็จ

เมื่อนำส่วนต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วนำมาประกอบรวมกันก็จะได้หุ่นยนต์โคบอทสามมิติที่มีลักษณะที่เป็นแบบแขนกล ที่สามารถทำงานได้โดยผ่านการปรับอัตราทดของแต่ละข้อต่อ