การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19
19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต

การวิเคราะห์และออกแบบมือกลที่มีลักษณะคล้ายมือมนุษย์

Analysis and Design of Anthropomorphic Robot Hands

ธนาวัฒน์ วุฒิชัยธนากร* สโรช ไทรเมฆ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
91 ถ.ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 Tel: 0-2470-9339 Fax: 0-2470-9691
*E-Mail: juicetv@fibo.kmutt.ac.th

Thanawat Vuttichaitanakron* Saroj Saimek
Department of Mechanical Engineering and Institute of FIeld roBOtics (FIBO) King Mongkut's University of Technology Thonburi
91 Pracha-u-tit Rd. Bangmod Tungkru 10140 Thailand Tel: 0-2470-9339 Fax: 0-2470-9691
*E-Mail: juicetv@fibo.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบมือกลโดยมีลักษณะทางกายภาพและรูปแบบการเคลื่อนที่คล้ายมือมนุษย์ เนื่องจากมือมนุษย์มีความสามารถในการหยิบจับสิ่งของได้หลากหลายรูปแบบและมีความคล่องตัวสูง สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้ โดยนำไปใช้ในส่วนที่อันตรายเพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุที่จะเกิดกับมนุษย์ หรือนำไปใช้กับผู้พิการมือขาดเพื่อเพิ่มความคล่องตัวในการหยิบจับสิ่งของให้ดีดังเดิม มือกลนั้นจะประกอบด้วยนิ้วทั้งหมด 5 นิ้ว โดยแต่ละนิ้วจะมีองศาอิสระ 3 องศาอิสระ รวมทั้งหมด 15 องศาอิสระ ซึ่งจะมีน้อยกว่ามือมนุษย์ 5 องศาอิสระ โดยกลไกของมือกลจะประกอบด้วยเซอร์โวมอเตอร์ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อน และใช้เฟือง สายพาน ทามมิ่ง และรอกเป็นตัวส่งกำลัง โดยมีขนาดประมาณ 1.5 เท่าของมือมนุษย์

คำหลัก: มือกลที่มีลักษณะคล้ายมือมนุษย์, มือมนุษย์

Abstract

This paper proposes analysis and mechanical design of a robot hand that resembles physiological structure and motion of the human's hand. Due to the high dexterity and the flexible grasping capability of the human hand, the robot hand bears these advantages can be applied to variety of hazardous manufacturing processes to reduce risk of workers or can function as a prosthetic hand for handicapped people. The anthropomorphic robotic hand consists of five fingers each of them has three degrees of freedom (DOF), entirely 15 DOFs, 5 DOFs less than the human hand. The mechanisms of this hand that is 1.5 times larger than the human's is driven by servo motors. The transmission system is composed of gears, timing belts, and pulleys.

Keywords: Anthropomorphic Robot Hand, human hand

1. บทนำ

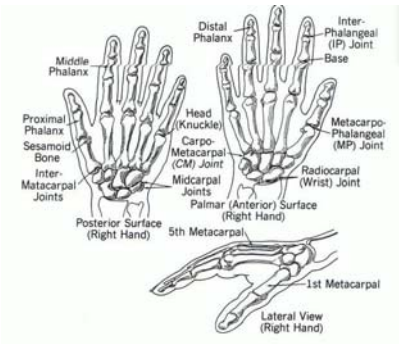
มือกลที่ติดตั้งในหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมในช่วงแรกนั้น จะมีลักษณะเป็นกริปเปอร์ (Gripper) ที่วางขนานกัน ในการใช้งานก็เพียงบังคับให้กริปเปอร์หดเข้าหากัน ทำให้สามารถหยิบจับวัตถุได้ แต่ข้อจำกัดของกริปเปอร์คือ ลักษณะการยึดจับของวัสดุนั้นเป็นแบบง่ายๆ ไม่ซับซ้อน ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาจากกริปเปอร์ที่มีเพียง 1 องศาอิสระในการเคลื่อนที่ จนมีหลายองศาอิสระ และจัดวางตำแหน่งของกริปเปอร์ให้สามารถทำงานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น จึงเป็นการพัฒนามาสู่มือกลที่มีลักษณะการทำงานเลียนแบบมาจากมือของมนุษย์[1] งานวิจัยทางด้านมือกลที่มีลักษณะเหมือนมือมนุษย์นั้นได้มีการศึกษาวิจัยในหลายๆแขนง ไม่ว่าจะเป็นทางด้านกลไกในการขับเคลื่อน [2]-[8] การวิเคราะห์การหยิบจับวัตถุและการเคลื่อนย้ายวัตถุ [9]-[14] การควบคุมมือกล [15], [16] ฯลฯ ซึ่งการศึกษาวิจัยทางด้านกลไกที่จะทำให้มือกลสามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนมือมนุษย์นั้นสามารถแยกได้อีกคือ วิจัยเกี่ยวกับการออกแบบตัวขับเคลื่อนใหม่ที่สามารถนำมาใช้ขับมือกล [2]-[5] และการออกแบบกลไกให้สามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนมือมนุษย์ [6]-[8]

บทความนี้จะกล่าวถึงแนวความคิดในการออกแบบกลไกต่างๆ ที่จะใช้ในการขับเคลื่อนมือกล โดยจะมีหัวข้อที่จะกล่าวดังต่อไปนี้ การวิเคราะห์มือของมนุษย์ ซึ่งจะกล่าวถึงโครงสร้างทางกายภาพของมือมนุษย์ ความสามารถในการเคลื่อนที่ของมือ และลักษณะการหยิบจับแบบต่างๆ หลักเกณฑ์ในการออกแบบและสร้างมือกล อธิบายถึงกลไกที่ออกแบบ สรุปผลและแนวทางการดำเนินงานในอนาคต

2. การวิเคราะห์มือของมนุษย์

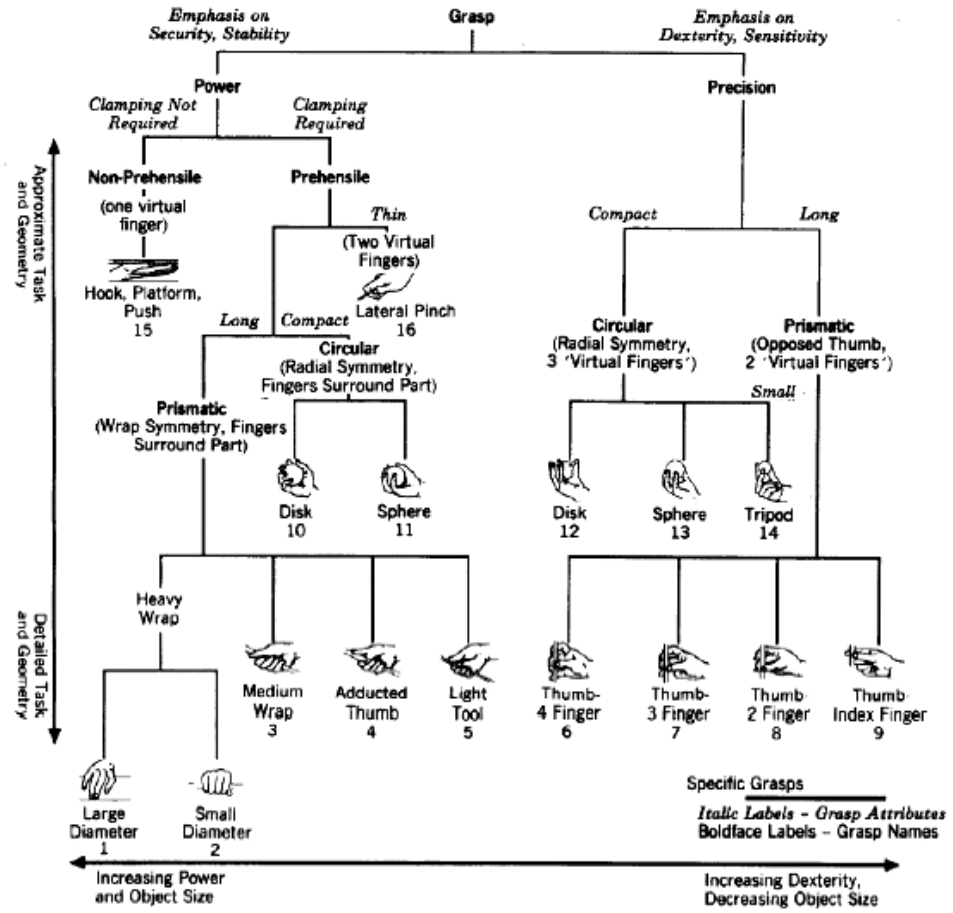
จากการศึกษาถึงโครงสร้างของมือมนุษย์ ซึ่งเปรียบได้ดังอุปกรณ์ที่อยู่ปลายสุดของเครื่องจักรหรือหุ่นยนต์ในระบบทางกล ซึ่งสามารถใช้ทำงานในการหยิบจับ, การดึงและการดัน เป็นต้น ถ้าหากพิจารณาโครงสร้างของมือ จะเห็นได้ว่า นิ้วในแต่ละนิ้วของมนุษย์นั้น มีความสามารถเคลื่อนที่ได้นิ้วละ 4 องศาอิสระ รวมเป็น 20 องศาอิสระในแต่ละข้าง อีกทั้งยังมีความสามารถในการหล่อลื่นและซ่อมแซมได้ในตัวเองตามกลไกการทำงานของร่างกายอีกด้วย

ในนิ้วมือทั้งสองข้างของมนุษย์นั้น จะประกอบไปด้วยกระดูก, กล้ามเนื้อ, ระบบประสาทและเส้นเอ็น เชื่อมติดกับข้อมือด้วยฝ่ามือ ขับเคลื่อนโดยการยืดตัวและหดตัวของกล้ามเนื้อบนฝ่ามือ รวมไปถึงกล้ามเนื้อที่อยู่ตรงแขนซึ่งทำให้มือของมนุษย์สามารถยกของที่มีน้ำหนักมากได้โดยการส่งแรงไปสู่ข้อต่อต่าง ๆของมือผ่านทางเส้นเอ็น ซึ่งกล้ามเนื้อเหล่านี้สามารถควบคุมตำแหน่งและแรงในการทำงานของมือมนุษย์ได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 1 โครงสร้างทางกายภาพของมือมนุษย์ [1]

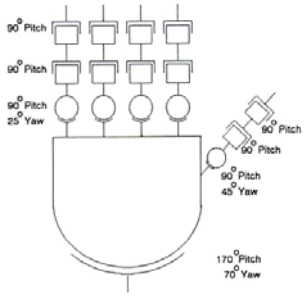
โครงสร้างทางกายภาพของมือนั้นเป็นดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยกระดูกชนิดต่าง ๆมากมายประกอบรวมกันเป็นนิ้วมือและฝ่ามือ ถูกยึดติดด้วยกล้ามเนื้อ ตรงข้อต่อของมือมนุษย์นั้นจะมีลักษณะเป็นแบบลูกบอลที่อยู่ในเบ้า (Ball-and-socket type) ทำให้นิ้วมือสามารถขยับยืดหดได้



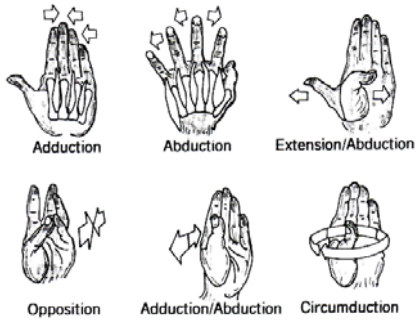
รูปที่ 2 ลักษณะการยึดจับในรูปแบบต่าง ๆของมือมนุษย์ [1]

สำหรับในส่วนของนิ้วหัวแม่มือ จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับนิ้วอื่นๆ แตกต่างกันตรงที่ตรงข้อล่าสุดของนิ้วนั้นจะอยู่ต่ำกว่านิ้วอื่นๆ จึงทำให้มีความสามารถในการเคลื่อนที่แตกต่างจากนิ้วอื่น คือ สามารถเคลื่อนที่อ้อมมาด้านหน้าฝ่ามือ และสัมผัสกับนิ้วทั้ง 4 นิ้วได้ เป็นจุดสำคัญที่ทำให้มือของมนุษย์สามารถยึดจับสิ่งของต่างๆได้ถนัดมากยิ่งขึ้นดังรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยึดจับสิ่งของต่างๆของมือมนุษย์

ความสามารถและข้อจำกัดของการเคลื่อนที่ในแต่ละข้อต่อของมือได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3 และลักษณะการเคลื่อนไหวของมือ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ความสามารถในการเคลื่อนที่ของมือ [1]



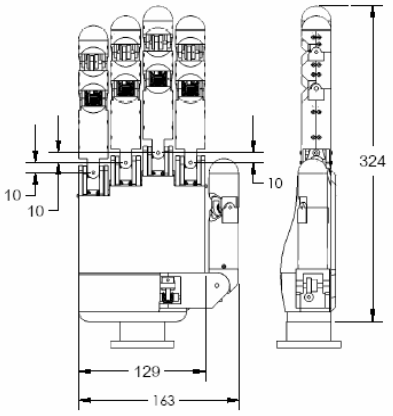
รูปที่ 4 การเคลื่อนไหวของมือ [1]

3. หลักเกณฑ์ในการออกแบบและสร้างมือกล

หลักเกณฑ์ในการออกแบบมือกลนั้นจะคำนึงถึงความคล้ายรูปแบบของมนุษย์มากที่สุดไม่ว่าจะเป็นลักษณะทางเรขาคณิต, การหยิบจับ และการเคลื่อนไหว ซึ่งรวมถึงความสะดวกและความกะทัดรัดในการนำไปใช้งาน โดยจะแยกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 ขนาดและรูปร่าง

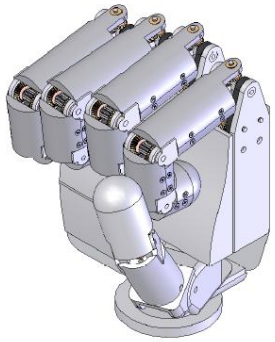
มือกลนั้นจะประกอบด้วยนิ้วทั้งหมด 5 นิ้ว คือ นิ้วชี้ – นิ้วก้อย และ นิ้วโป้ง และฝ่ามือ ซึ่งทั้งหมดนี้จะมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของมือมนุษย์จริงประมาณ 1.5 เท่า เนื่องจากขนาดของมอเตอร์ที่มีขนาดทอร์คที่ต้องการนั้นมีขนาดใหญ่ จึงทำให้ขนาดของมือกลใหญ่ตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขนาดและรูปร่างของมือกล

3.2 จำนวนองศาอิสระ

จำนวนองศาอิสระของมือกลจะมีทั้งหมด 16 องศาอิสระ 19 ข้อต่อ โดยนิ้วชี้ – นิ้วก้อยจะมีนิ้วละ 4 ข้อต่อ ส่วนนิ้วโป้งจะมี 3 ข้อต่อ รวมทั้งหมด 5 นิ้ว ซึ่งแต่ละนิ้วจะมี 3 องศาอิสระ รวม 15 องศาอิสระ ในส่วนของนิ้วชี้-นิ้วก้อยนั้นข้อต่อ 1 และ 2 จากปลายนิ้วจะเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน และฐานนิ้วจะเป็นข้อต่อแบบ Universal joint แต่นิ้วโป้งทุกข้อต่อจะอิสระต่อกัน โดยแสดงในรูปที่ 5



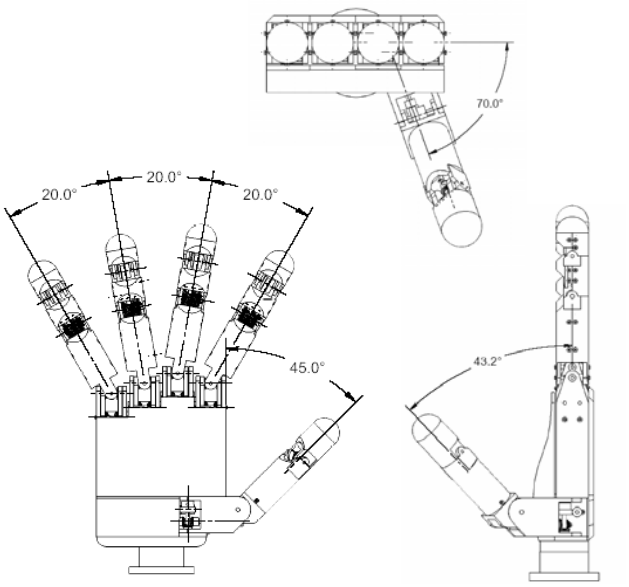
รูปที่ 6 ลักษณะของมือกลที่ทำการออกแบบ

3.3 ความกะทัดรัดในการใช้งาน

การใช้งานมือกลนั้นต้องการความสะดวกและกะทัดรัดในการใช้งาน จึงทำการออกแบบให้ตัวขับเคลื่อน (Servo motor) และระบบส่งถ่ายกำลังทั้งหมดอยู่ในมือกล ซึ่งประกอบด้วย เฟือง สายพานทามมิ่ง และรอก ทำให้การติดตั้งและการใช้งานง่ายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7

3.4 ง่ายต่อการบำรุงรักษาและถอดซ่อม

ในการออกแบบนั้นจะออกแบบให้ทุกนิ้วอิสระต่อกันสามารถถอดเปลี่ยนหรือแยกออกมาซ่อมได้โดยไม่เกี่ยวกับนิ้วอื่นๆ



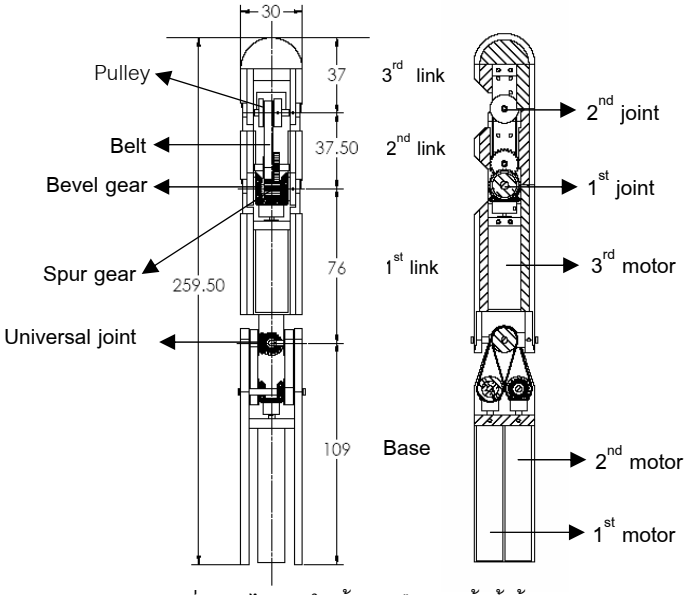
รูปที่ 7 โครงสร้างของมือกล

4. กลไกของมือกล

กลไกของมือกลจะประกอบด้วยสองส่วนด้วยกันคือส่วนของนิ้วชี้-นิ้วก้อยและส่วนของนิ้วโป้งซึ่งจะมีกลไกที่แตกต่างกันดังนี้

4.1 นิ้วชี้-นิ้วก้อย

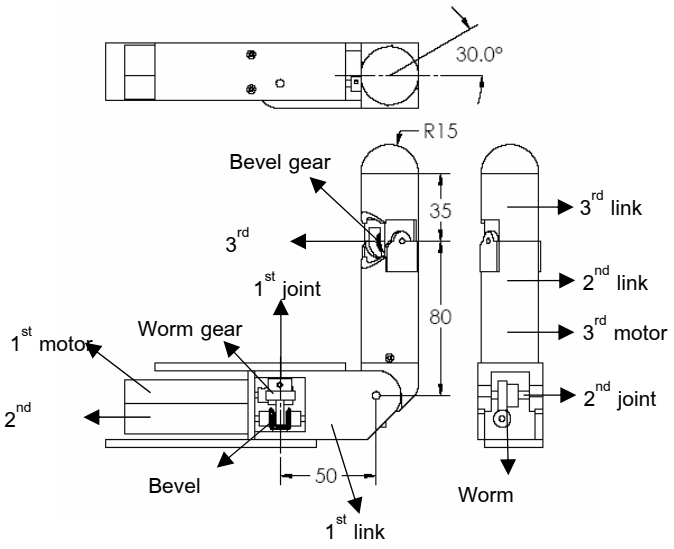
ในส่วนของนิ้วชี้-นิ้วก้อยนั้นจะมีชิ้นต่อโยงทั้งหมด 4 ชิ้นต่อโยง ข้อต่อ 4 ข้อต่อ และจำนวนองศาอิสระ 3 องศาอิสระ โดยจะใช้เซอร์โวมอเตอร์ 3 ตัวเป็นตัวขับเคลื่อน และใช้เฟืองดอกจอก เฟืองตรง สายพานทามมิ่งและรอกเป็นตัวส่งกำลัง ซึ่งทั้งหมดจะฝังอยู่ในชิ้นต่อโยง ในส่วนของข้อต่อที่หนึ่งและสองนั้นจะเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน เมื่อข้อต่อที่หนึ่งหมุน ข้อต่อสองก็จะหมุนตาม ด้วยองศาที่เท่ากัน ส่วนข้อต่อยูนิเวอร์แซลนั้นจะใช้มอเตอร์สองตัวในการขับเคลื่อนโดยจะใช้สายพานส่งกำลังจากฐานไปยังข้อต่อทั้งสองแกน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กลไกภายในนิ้วของมือกล (นิ้วชี้-นิ้วก้อย)

4.2 นิ้วโป้ง

ในส่วนของนิ้วโป้งนั้นจะมีชิ้นต่อโยงทั้งหมด 4 ชิ้นต่อโยง ข้อต่อ 3 ข้อต่อ และจำนวนองศาอิสระ 3 องศาอิสระ โดยจะใช้เซอร์โวมอเตอร์ 3 ตัวเป็นตัวขับเคลื่อน และใช้เฟืองดอกจอก และเฟืองเกลียวหนอนเป็นตัวส่งกำลัง การเคลื่อนที่ของข้อต่อที่ 1 นั้นจะขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ตัวที่ 1 ส่งผ่านกำลังด้วยเฟืองเกลียวหนอน ข้อต่อที่ 2 จะถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยจะส่งกำลังผ่านเฟืองดอกจอก แล้วส่งผ่านเพลาไปยังเฟืองเกลียวหนอนเพื่อขับข้อต่อ 2 ข้อต่อ 3 จะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ตัวที่ 3 ซึ่งอยู่ภายในนิ้ว แล้วส่งกำลังผ่านเฟืองดอกจอกเพื่อขับข้อต่อ 3



รูปที่ 9 กลไกภายในนิ้วโป้งของมือกล

5. สรุปผลและแนวทางการดำเนินงานในอนาคต

จากการวิเคราะห์และออกแบบมือกลพบว่าจำนวนองศาอิสระของมือกลนั้นยังมีจำนวนที่น้อยกว่ามือมนุษย์ 5 องศาอิสระ เป็นไปได้ที่จะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนมือมนุษย์ในบางกรณี โดยการดำเนินงานในอนาคตจะทำการสร้างมือกลต้นแบบขึ้นจริงตามที่ได้ออกแบบไว้และทำระบบควบคุมเพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ตามที่วิเคราะห์ข้างต้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม (FIBO) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ รวมถึงคณาจารย์และนักศึกษาของสถาบันที่ให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับงานวิจัย และขอขอบคุณสำนักงบประมาณที่ให้การสนับสนุนในด้านเงินทุนดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Mark E. Rosheim, Robot Evolution The development of Anthrobotics, John Wiley & Sons, INC., 1994, pp.189-225.

[2] J. Butterfass, G. Hirzinger, S. Knoch, H. Liu “DLR’s Multisensory Articulated Hand Part I: Hard- and Software Architecture”, Proceedings of the 1998 IEEE International

Conference on Robotics & Automation. Leuven, Belgium May 1998 pp.2081-2086.

[3] Ikuo Yamano, Kenjiro Takemura, and Takashi Maeno, " Development of a Robot Finger for Five-fingered Hand using Ultrasonic Motors", Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, October 2003, pp. 2648-2653.

[4] S. Scuulz, C. Pylatiuk and G. Bretthauer "A New Ultralight Anthropomorphic Hand", Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation. Seoul, Korea 2001. pp.1-5.

[5] http://www.shadow.org.uk/products/newhand.shtml

[6] S. C. Jacobsen et al., "The version 1 UTA/MIT dexterous hand", in Robotics Res., 2nd Int. Symp. Cambridge, MA: MIT Press, 1985, pp. 301-308.

[7] Sungmoo Ryew, and Hyoukryeol Choi, "Double Active Universal Joint (DAUJ): Robotic Joint Mechanism for Humanlink Motion", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 17, NO. 3, June 2001, pp. 290-300.

[8] Tetsuya Mouri, Haruhisa Kawasaki, Keisuke Yoshikawa, and Jun Takai, "Anthropomorphic Robot hand: Gifu Hand III", International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS2002), Muju Resort, Jeonbuk, Korea, 16-19 October 2002, pp. 1288-1293.

[9] Mark R. Cutkosky, "On Grasp Choice, Grasp Models, and the Design of Hands for Manufacturing Tasks", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 5, NO. 3, February 1989, pp. 269-279.

[10] Tsuneo Yoshikawa, and Kiyoshi Nagai, "Manipulating and Grasping Forces in Manipulation by Multifingered Robot Hands", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 7, NO. 1, February 1991, pp. 67-77.

[11] Paul Michelman, "Precision Object Manipulation with a Multifingered Robot Hand", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 14, NO. 1, February 1998, pp. 105-113.

[12] Allison M. Okamura, Niels Smaby, and Mark R. Cutkosky, "An Overview of Dexterous Manipulation", Proceeding of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation, San Francisco, CA, April 2000, pp. 255-262.

[13] Makoto Kaneko, Tatsuya Shirai, and Toshio Tsuji, "Scale-Dependent Grasp", IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics – Part A : Systems and Humans, Vol. 30, NO. 6, November 2000, pp. 806-816.

[14] Yuru Zhang, William A. Gruver, Jiting Li, and Qixian Zhang, "Classification of Grasps by Robot Hands", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybertics-Part B: Cybernetics, Vol. 31, No. 3, June 2001, pp. 436-444

[15] Konstantinos J. Kyriakopoulos, Josh Van Riper, Andrew Zink, and Harry E. Stephanou, "Kinematic Analysis and Position/Force Control of Anthrobot Dextrous Hand", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybertics-Part B: Cybernetics, Vol. 27, NO. 1, February 1997, pp. 95-103.

[16] Xin-Zhi Zheng, Ryo Nakashima, and Tsuneo Yoshikawa, "On Dynamic Control of Finger Sliding and Object Motion in Manipulation with Multifingered Hands, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 16, NO. 5, October 2000, pp. 469-481.