บทที่ 4

อภิปรายผลการวิจัย, สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

พฤติกรรมการเคลื่อนไหวเป็นปรากฏการณ์แสดงออกของสัตว์ทดลองที่เป็นผลสะท้อนอันเนื่องมาจากสภาวะของระบบประสาทส่วนกลาง ประโยชน์ของการศึกษาพฤติกรรมนี้มีอย่างกว้างขวางในงานวิจัยหลายสาขาดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 เครื่องมือและวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมนี้ จึงได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้หลายชนิดดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 เช่นกัน แต่เครื่องมือและวิธีการต่าง ๆ เหล่านี้ต่างก็มีข้อดีและข้อเสียต่าง ๆ กัน กล่าวคือ การสังเกตด้วยตาเปล่า (Direct Observations)[3] นั้น เป็นวิธีที่ง่ายเพราะไม่ต้องใช้เครื่องมืออะไรที่ยุ่งยาก แต่ก็มีข้อเสียคือขาดความแม่นยำ และอาจมีความผิดพลาดสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก human error ทั้งยังเป็นวิธีที่น่าเบื่อหน่ายและเปลืองแรงงาน แบบใช้กรงล้อหมุน(Revolving Wheel)[2] จะทำให้ได้ข้อมูลที่ออกมาจากเครื่องแม่นยำดี แต่มีข้อเสียอย่างมากคือ สัตว์ทดลองที่อยู่ในเครื่องมือนี้จะอยู่ในอิทธิพลของ kinesthetic feedback ที่ receptor ต่าง ๆ ของร่างกายได้รับอันเนื่องมาจากการหมุนของกรงล้อ[2] ในแบบกรงสั่นสะเทือน(Jiggle Cage[4]) สัตว์ทดลองจะอยู่ในสภาพปกติ(normal life) มากกว่าแบบใช้กรงล้อหมุน แต่เนื่องจากความจำกัดของความไว (sensitive) ของผลึก Peizoelectric และ Microswitch ที่ใช้เป็นเครื่องนับ จึงทำให้เครื่องมีความไวไม่สูงพอ และเนื่องจากมีการสั่นของกรงจึงอาจทำให้สัตว์ทดลองไม่อยู่ในสภาพปกติเท่าที่ควรเป็น ส่วนแบบใช้โฟโต้เซลล์(Photocell[5]) ได้รับการยอมรับว่าดีเพราะมีความไวสูงและสามารถปรับความไวได้ แต่มีข้อเสียคือที่ด้านข้างของกรงจะต้องติดหลอดไฟเพื่อให้เกิดแสงไปตกบนโฟโต้เซลล์ ลำแสงนี้เป็นลำแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) ซึ่งอาจรบกวนสัตว์ทดลองหรืออาจทำให้สัตว์ทดลองเกิด

ความสนใจ และอาจมาสำรวจแหล่งเกิดลำแสง หรือไม่ก็หลบเลี่ยงลำแสงตลอดเวลา ทำให้ผลของการทดลองมีค่าผิดพลาดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบางสภาวะของจิตประสาท ซึ่งสัตว์ทดลองอาจมีความไวในการรับรู้สิ่งกระตุ้น รวมทั้งแสงสว่างสูงกว่าปกติ (เช่น เมื่อสัตว์ทดลองได้รับสารพวกที่กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง) ถ้าเลือกใช้แบบแสงอิน-ฟราเรด จะดีกว่าแบบใช้แสงสว่างเพราะสัตว์ทดลองจะมองไม่เห็นลำแสงที่ใช้ เพราะฉะนั้นสัตว์ทดลองจึงจะอยู่ในสภาพปกติมากกว่า แต่จะมีข้อเสียคือหลอดกำเนิดแสงอิน-ฟราเรดและโฟโต้เซลล์สำหรับรับแสงมีราคาแพง แบบใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีข้อดีคล้ายกับแสงอินฟราเรดและก็มีราคาสูงอีกเช่นกัน ส่วนแบบสุดท้ายคือ **Electromagnetic movement resistering system** นั้น(5) จัดว่าเป็นประเภทที่ดีที่สุดเท่าที่มีอยู่ในปัจจุบัน แต่ก็มีราคาแพงมากจนในห้องทดลองทั่ว ๆ ไปไม่อาจซื้อมาใช้ได้

ในการออกแบบเพื่อสร้างเครื่องมือที่กำลังรายงานอยู่นี้ ได้คำนึงถึงข้อกำหนดต่าง ๆ ภายใต้ความประสงค์ที่ว่า เครื่องมือนี้เมื่อสร้างขึ้นมาแล้วจะปราศจากข้อเสียซึ่งประมวลได้จากเครื่องต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วข้างต้น ดังนั้นในแง่ของทางเศรษฐศาสตร์จึงได้กำหนดไว้ว่าเครื่องมือนี้จะต้องมีราคาถูก และใช้วัสดุที่หาได้ง่ายภายในประเทศ ในแง่เทคนิคเครื่องมือนี้ต้องง่ายต่อการใช้งานและจะต้องปราศจากสิ่งซึ่งอาจทำให้สัตว์ทดลองอยู่ในสภาพที่ไม่เป็นธรรมชาติ เช่นในกรณีของกรงหมุน, กรงสั่นสะเทือน และลำแสงเป็นต้น ในแง่เศรษฐศาสตร์งานวิจัยนี้ได้บรรลุถึงเป้าประสงค์ กล่าวคือทั้งภาคอิเล็คโทรนิคส์และกรงที่ได้สร้างขึ้นมีราคาเฉพาะค่าวัสดุประมาณ 3,000.- บาท ซึ่งจากการสืบราคาเครื่องมือที่มีลักษณะการใช้งานคล้ายกัน และต้องสั่งมาจากต่างประเทศ ได้พบว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีราคาเป็นประมาณหนึ่งในห้าถึงหนึ่งในสิบของเครื่องมือดังกล่าวเหล่านั้น วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างสามารถหาซื้อได้ง่ายจากตลาดอุปกรณ์อิเล็คโทรนิคส์ย่านบ้านหม้อ ด้านเทคนิควงจรที่ออกแบบและสร้างมีความง่ายในการบำรุงรักษา เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็คโทรนิคส์ที่เป็น **active part** ส่วนใหญ่ใช้ไอซีและติด **socket** สำหรับไอซีต่าง ๆ เหล่านั้นบนแผ่นพิมพ์วงจร ในภาคแหล่งจ่ายไฟทรานสฟอร์มเมอร์เลือกใช้แบบแยกขวด(**isolate**)

เพื่อป้องกันการรั่วของแรงดันไฟ 220 โวลท์อันอาจจะเกิดขึ้น ไฟเลี้ยงวงจรใช้แรงดันไฟต่ำเพียง 5 โวลท์ และ active part ส่วนใหญ่ก็ใช้ไอซีซึ่งกินกระแสน้อย จึงทำให้ passive part (ได้แก่พวกตัวความต้านทานและตัวเก็บประจุ) มีความคงทนสูง ด้าน power consumption จากการทดลองพบว่า ใช้กระแสไม่เกิน 800 มิลลิแอมป์ (ซึ่งเท่ากับ 4 วัตต์) ด้านความสะดวกในการใช้งาน มีวงจรตั้งเวลาให้เลือกถึง 5 เวลาและมีไฟเตือนเมื่อครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้

ตัวเลขที่ปรากฏเป็นแบบดิจิตอลมีความสว่างเพียงพอให้เห็นได้ ในตอนแรกของการออกแบบได้เลี่ยงแบบดิจิตอลโดยใช้แบบ Electromagnetic counter ซึ่งถูกกว่า แต่เมื่อทำการทดลองพบว่าสัญญาณที่จะไปกระตุ้น Electromagnetic counter จะต้องมีคาบเวลายาวจึงทำให้เครื่องนี้มีความไวไม่เหมาะสำหรับหนูเล็ก ซึ่งมีการเคลื่อนไหวเร็ว อีกประการหนึ่ง Electromagnetic counter มีการทำงานชนิดกึ่งเครื่องกล ซึ่งต้องใช้แรงดันไฟ 220 โวลท์ และกินกระแสสูงซึ่งไม่ประหยัด

แต่อย่างไรก็ดีข้อเสียที่สำคัญของเครื่องมือนี้คือ จำเป็นต้องมีคนเฝ้าคอยจดข้อมูลตลอดเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งจะเป็นอุปสรรคอย่างมากถ้าการทดลองจำเป็นต้องเก็บผลข้ามคืน เช่นการศึกษา circadian activity rhythms เป็นต้น ข้อบกพร่องอันนี้อาจแก้ไขได้ถ้าใช้ automatic printer ซึ่งจะพิมพ์ตัวเลขที่นับได้ออกมาทุก ๆ ช่วงเวลาที่กำหนด เครื่องที่สร้างขึ้นนี้สามารถดัดแปลงให้สัญญาณจากวงจรนับเหมาะสมเข้ากับ(compatibillity) printerทั่ว ๆไป ดังนั้นในอนาคตหากมี printer ก็สามารถนำมาประกอบใช้ได้ทันที อย่างไรก็ดี การที่มีการเตรียมสำหรับ analog recorder ก็อาจจะช่วยแก้ไขข้อบกพร่องได้บ้างแม้ว่าข้อมูลจาก analog recorder จะไม่ใช่ตัวเลขสมบูรณ์(absolute figure) ของการเคลื่อนไหว แต่ข้อมูลที่ได้จาก analog recorder อาจทำให้ผู้ทำวิจัยทราบรูปแบบทั่ว ๆ ไป(general pattern) ของพฤติกรรมการเคลื่อนไหวของสัตว์ทดลอง ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ได้ดังตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 22 และ 23

ในการออกแบบเพื่อที่จะให้สัตว์ทดลองอยู่ในสภาวะใกล้เคียงธรรมชาติที่สุดนั้น ครั้งแรกได้พยายามที่จะใช้กรงพื้นราบเนื่องจากวงจรที่เลือกใช้สามารถที่จะรับสัญญาณ 50 Hz โดยผ่านทางค่าตัวเก็บประจุ(capacitor) ได้เช่นเดียวกับการผ่านทางค่าตัวความต้านทาน(resistor) เมื่อเป็นเช่นนี้การออกแบบที่จะใช้กรงเป็นแบบดังกล่าวจึงย่อมเป็นไปได้โดยการนำ sensor ซึ่งเป็นแผ่นโลหะติดใต้พื้นกรงซึ่งเป็นฉนวน เมื่อสัตว์ทดลองเคลื่อนที่อยู่บนพื้นกรงมาอยู่เหนือแผ่นโลหะที่เป็น sensor ก็จะทำให้ sensor นั้นสามารถรับสัญญาณจากตัวสัตว์ทดลองได้ ในการทดลองได้พบว่าหลักการนี้ก็ใช้ได้ผล แต่ได้พบต่อมาว่า sensor ดังกล่าวจะทำงานได้ดีในสภาวะที่ฉนวนอยู่เหนือ sensor แห้ง หากมีความชื้นหรือมีน้ำนองอยู่บนผิวหน้าของฉนวน(พื้นกรง) ก็ย่อมจะทำให้ค่า Capacitance ซึ่ง sensor สามารถอ่านได้ผิดไป (มีค่าสูงขึ้น) ทำให้รับสัญญาณจากสิ่งแวดล้อมได้ตลอดเวลา พัลส์ที่เกิดขึ้นจากวงจรในข้อ 2.1 ก็จะเกิดเพียงครั้งเดียว กรณีเช่นนี้จะเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ในการทดลองทั่ว ๆ ไป กล่าวคือสัตว์ทดลองได้แก่หนู จำเป็นจะต้องถ่ายปัสสาวะในเวลาอันสั้น ซึ่งในงานวิจัยพบว่าในเวลาไม่เกินครึ่งชั่วโมง หนูปกติอาจถ่ายปัสสาวะได้ถึง 2 – 3 ครั้ง

เครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ แม้ว่าจะใช้ได้ง่ายและให้ข้อมูลที่ตรงไปตรงมาเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของสัตว์ทดลอง แต่ข้อมูลที่ได้ก็บอกได้เฉพาะอัตรามากน้อยของการเคลื่อนไหวทั่ว ๆ ไป(gross locomotor behaviour) ของสัตว์ทดลองเท่านั้น หาได้เป็นเครื่องมือวัดอัตราการเคลื่อนที่ที่ดีที่สุด ในการวิจัยขั้นที่สูงขึ้นไปอาจมีความต้องการข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวที่ละเอียดกว่านี้ ในปัจจุบันเครื่องมือที่จะใช้เพื่อการดังกล่าวได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น กรงที่ใช้นอกจากสามารถที่จะบอก gross locomotor behaviour ได้แล้วยังอาจบอก jumping behaviour, rearing behaviour ได้ในกรงเดียวกัน โดยการขึงลำแสงกับโฟโต้เซลล์ไว้ในระดับสูง เมื่อสัตว์ทดลองยืนและบังลำแสงก็จะทำให้ได้การรับจากการยืนของสัตว์ทดลอง ในกรงยังอาจใส่ proximity sensor ซึ่งอาจจะวัดกรณีที่สัตว์ทดลองมี muscle-

tremor หรือมี thermal sensor สำหรับวัดอัตราการหายใจของสัตว์ทดลองได้ด้วย นอกจากนั้นสัญญาณที่ออกมาจาก sensor ซึ่ง detect การเคลื่อนไหวของสัตว์ทดลองยังอาจถูกนำมาแต่งรูปให้เหมาะสม แล้วป้อนเข้า X - Y recorder ทำให้ปากกาของ X - Y recorder เคลื่อนที่ไปตามการเคลื่อนไหวของสัตว์ทดลอง เราจึงบันทึกเส้นทางการเคลื่อนไหวทำให้ทราบ pattern ของการเคลื่อนไหวได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ดีเครื่องมือที่มีข้อมูลจำเพาะในการใช้งานดังกล่าวมานี้ ก็ไม่เหลือวิสัยที่จะพัฒนาขึ้นมาใช้เองได้ โดยเราอาจวางแผนและออกแบบจัดตำแหน่งของชิ้นกรงที่เป็น detector ของเครื่องมือที่สร้างขึ้นให้เหมาะสม เช่น วางตำแหน่งของ sensor ให้อยู่ในลักษณะของตาราง (screen) สัญญาณ digital ที่ออกจากตำแหน่งต่าง ๆ ของกรงนั้น ก็อาจถูกนำมา integrate แล้วป้อนเข้า X - Y recorder ก็จะทำให้ได้เครื่องมือที่บันทึก pattern ของการเคลื่อนไหวของสัตว์ทดลองได้เหมือนกัน นอกจากนั้นการเพิ่มเติมส่วนอื่น ๆ เพื่อทำให้สามารถวัด jumping, rearing หรือ muscle tremor หรืออัตราการหายใจก็สามารถที่จะทำได้โดยไม่ยากนัก

โดยสรุปแล้วการวิจัยนี้ทำให้ได้มาซึ่งต้นแบบของเครื่องมือวัดพฤติกรรมการเคลื่อนไหวของสัตว์ทดลอง ซึ่งมีหลักการทำงานต่างไปจากเครื่องมืออื่นที่เคยมีใช้ ความเหมาะสมของเครื่องมือนี้ดีกว่าหลายประการดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ต้นแบบที่สร้างขึ้นอาจเป็นแนวทางสำหรับการดัดแปลง เพื่อให้ได้เครื่องมือที่ใช้งานได้ละเอียดยิ่งขึ้นในอนาคต