ตอนที่ 2 การใช้ TV สาธิตแรงลอเรนซ์

ได้กล่าวมาแล้วว่าแรงลอเรนซ์นั้นเป็นกฎที่สำคัญมากทางแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นการจะทำความเข้าใจกฎนี้ให้ชัดแจ้งจะต้องมีการทดลองโดยใช้อุปกรณ์จริงประกอบการพินิจพิจารณาอย่างจริงจังไปพร้อมกัน

แรงลอเรนซ์เป็นแรงที่เกิดกับประจุไฟฟ้า โดยจะมีแรงสองแรงกระทำกับประจุไฟฟ้า คือแรงจากสนามไฟฟ้า(qE) และแรงจากสนามแม่เหล็ก(qv x B)

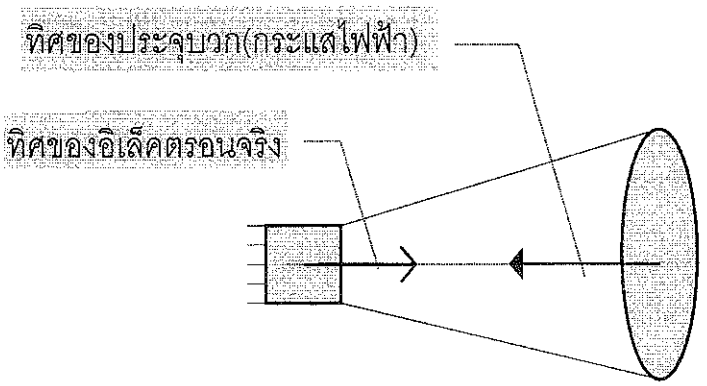
ปกติประจุไฟฟ้านั้นจะอาศัยหรือเกาะอยู่กับวัตถุหรืออนุภาค ที่มีมวล เรามักเรียกว่าอนุภาคที่มีประจุ(charged particle) หรือวัตถุที่มีประจุ(charged object) ซึ่งอนุภาคที่มีประจุที่มีขนาดเล็กที่สุดได้แก่อิเล็คตรอน(electron : e) ดังนั้นคำว่าประจุไฟฟ้าที่จะกล่าวถึงในอุปกรณ์ชุดนี้จึงหมายถึงอิเล็คตรอนนั่นเอง และการเคลื่อนที่ของอิเล็คตรอนในหลอด TV นั้นจะมีอิเล็คตรอนจำนวนมากเคลื่อนที่ไปด้วยกันเหมือนลำน้ำที่ฉีดออกจากท่อประปา จึงเรียกว่าลำอิเล็คตรอน (electron beam) หลอด TV นั้นเป็นหลอด CRT(cathode ray tube)ชนิดหนึ่ง

พึงระลึกว่าแรงตามสมการ $F = qE + qv \times B$ นั้นเป็นแรงที่กระทำกับประจุบวก แต่ประจุส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองหรือประจุที่ไหลในวงจรไฟฟ้าหรือในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่เราใช้ในชีวิตประจำวันนั้นเป็นประจุไฟฟ้าลบซึ่งได้แก่อิเล็คตรอน ดังนั้นทิศของแรงที่กระทำกับอิเล็คตรอนจึงมีทิศตรงกันข้ามกับทิศของแรงที่กระทำกับประจุบวกตามสมการหลักง่ายๆในการหาทิศของแรงให้จำเพียงวิธีหาทิศของแรงที่กระทำกับประจุบวกอย่างเดียว ถ้าเป็นประจุลบก็เพียงแต่กลับทิศที่หาได้เป็นทิศตรงกันข้าม

อุปกรณ์

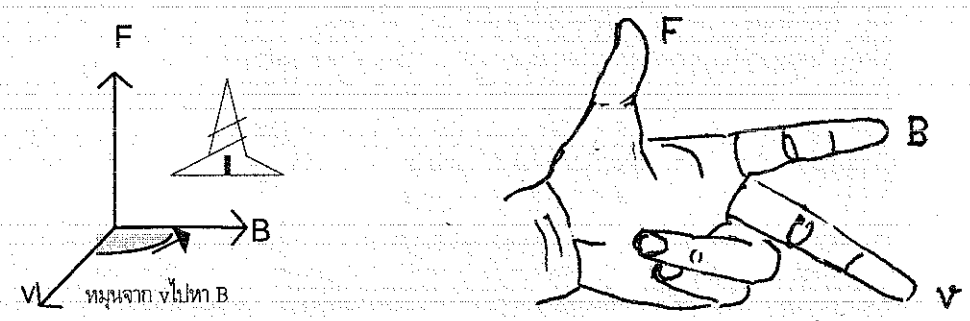
1) TV เก่า(หลอดภาพและไฟแรงสูงยังใช้งานได้)

ในหลอด TV อิเล็คตรอนจะวิ่งจากขั้วหลอด(อยู่ด้านหลังเครื่อง)ไปหาหน้าจอ ดังนั้นเราต้องคิดว่ามีประจุบวก (กระแสไฟฟ้า)วิ่งจากด้านหน้าจอไปยังขั้วหลอดตามรูป



รูปที่ 8 แสดงทิศของกระแสไฟฟ้าและทิศของอิเล็คตรอนในหลอด TV

ในสมการ F = qE + qv x B นั้นทิศของแรงหาได้ตามหลักการของเวคเตอร์ โดยแรงที่เกิดจาก qE จะมีทิศตามทิศของ E คือมีทิศจากหน้าจอพุ่งเข้าไปหาขั้วหลอด ส่วนแรง qv x B นั้นหาได้ตามหลัก v cross B (สกรูหมุนจาก v ไปหา B) หรืออาจใช้กฎมือซ้ายตามรูป



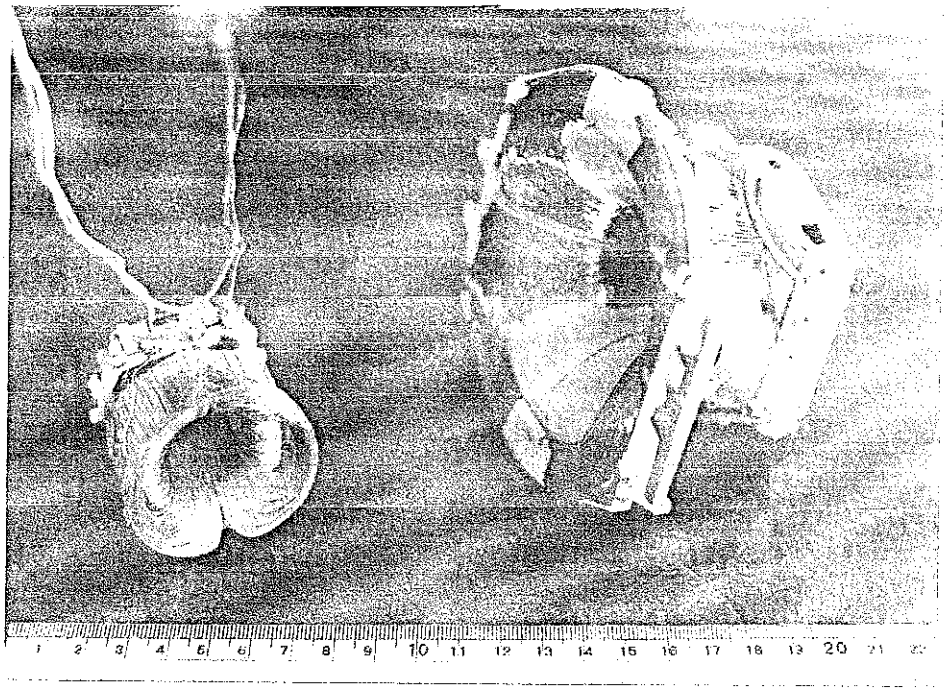
ก)แสดงทิศของเวคเตอร์โดยใช้แกนกราฟ ข)แสดงทิศโดยใช้ทิศของนิ้วมือซ้าย

รูปที่ 9 แสดงการหาทิศของแรงที่กระทำกับประจุที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก

เมื่อลำอิเล็คตรอนในหลอด TV วิ่งจากขั้วหลอดไปชนหน้าจอ(การวิ่งนี้เกิดจากแรง qE ซึ่งได้จากแรงดันไฟสูงของ TV) ถ้าเราไม่ปล่อยสนามแม่เหล็กผ่านหลอดทีวีเลยลำอิเล็คตรอนจะวิ่งไปชน ณ จุดตรงกลางหลอด แต่ถ้าเราป้อนสนามแม่เหล็กผ่านหลอด(ทิศตั้งฉากกับทิศของอิเล็คตรอน) สนามแม่เหล็กจะสร้างแรงบนอิเล็คตรอนทำให้อิเล็คตรอนมีทิศเบนไปจากเดิม ***จะเบนไปทางไหนก็ขึ้นอยู่กับทิศของสนามแม่เหล็กที่เราป้อนผ่านหลอด*** ตามสมการ F = qv x B นี่เป็นประเด็นที่เราสามารถทดลองให้เห็นจริงได้ในอุปกรณ์ชุดนี้ โดยเราจะทดลองป้อนสนามแม่เหล็กทั้งจากแม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กไฟฟ้า

นำ TV มาดัดแปลงดังนี้ ก่อนอื่นใดทดลองเปิดทีวีดูจะเห็นแสงสว่างเต็มหน้าจอ(ไม่จำเป็นต้องมีภาพหรือเสียง) จากนั้นปิดทีวีเอาปลั๊กไฟออกแล้วตัดสายไฟที่ต่อกับ Yoke coil ซึ่งจะมีสายไฟทั้งหมด 4 สาย ให้เริ่มต้นตัดเพียงสายเดียว (สายใดก็ได้) จากนั้นเสียบปลั๊กทีวีทดลองเปิดทีวีดูอีกครั้ง ตอนนี้จะเห็นหน้าจอมีเพียงแสงสีขาวเป็นเส้นพาดหน้าจอ อาจพาดแนวดิ่งหรือแนวราบก็ได้ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นที่นักศึกษาจะต้องทำความเข้าใจให้ได้ว่าเพราะอะไรจึงเป็นเช่นนั้น?? ขั้นตอนนี้จะเป็นการให้ความรู้เกี่ยวกับการทำงานของหลอดทีวีที่น่าสนใจ ขั้นต่อไปให้ตัดสายไฟที่ไปเลี้ยง Yoke coil ออกทั้ง 4 เส้น(อย่าลืมปิดทีวีและถอดปลั๊กออกก่อนทุกครั้งที่จะตัดหรือต่อสายไฟใดๆในทีวี) จากนั้นลองเปิดทีวีดูอีกครั้งจะเห็นจุดขาวกลมๆอยู่กลางจอ ทดลองนำแม่เหล็กไปวางบนทีวีจะเห็นจุดขาวนี้ขยับไปทางใดทางหนึ่ง

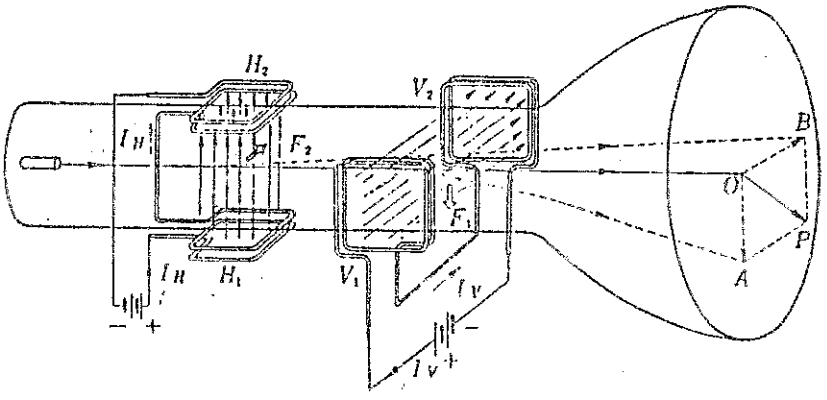
เมื่อตัดสายไฟเรียบร้อยแล้วเราจะสร้างขั้วของ Yoke coil ขึ้นมาใหม่โดยต่อแจ๊กไว้ด้านหลังตัวถังทีวี 2 คู่ ได้แก่ Ver. coil และ Hor. coil แจ๊กขั้วไฟนี้มีไว้เพื่อความสะดวกในการต่อสายไฟจากวงจรควบคุม Yoke coil มาต่อกับทีวี หมายความว่าเราจะไม่ใช้สัญญาณควบคุม Yoke coil จากทีวีอีกต่อไปแต่จะใช้ไฟจากถ่านไฟฉายหรือวงจรควบคุมที่เราสร้างขึ้นมาควบคุม(ถ้าไม่สร้างวงจรควบคุมอาจจะใช้แหล่งจ่ายไฟที่ปรับแรงดันได้มาควบคุมแทนก็ได้)



รูปที่ 10 ภาพถ่าย Yoke coil ในทีวีจริง

2) **แม่เหล็ก**(แม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กไฟฟ้า)

แม่เหล็กถาวรจะใช้แม่เหล็กก้นลำโพง และแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้วิธีป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด Yoke ciol ของทีวี(หรืออาจใช้ขดลวดที่เราสร้างขึ้นมาโดยเฉพาะ) โดยจะมีวงจรอิเล็คทรอนิคส์ควบคุมการปล่อยกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวด ลักษณะของ Yoke coil ของทีวีจะมีขดลวดสองชุดเพื่อให้ลำอิเล็คตรอนเบนในแนวราบหนึ่งชุด และเบนในแนวดิ่งหนึ่งชุด แต่ละชุดมีลวด 2 ขดวางไว้คนละด้านของหลอดทีวี โดยลวดทั้งสองจะต่อกันแบบอนุกรมให้เกิดทิศสนามแม่เหล็กเสริมกันตามรูป



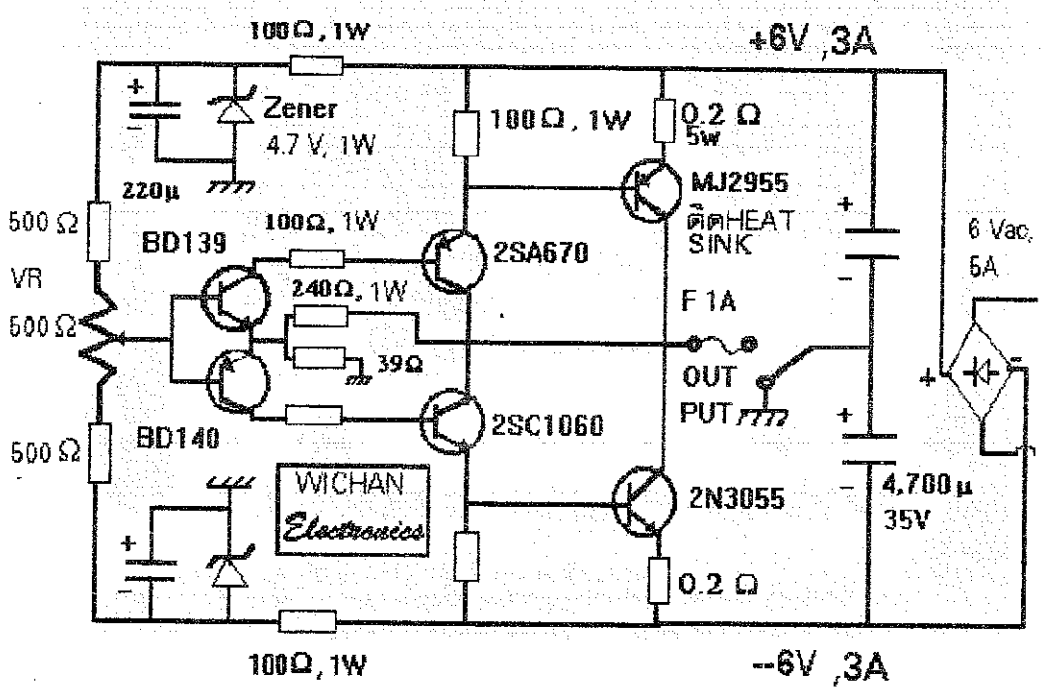
รูปที่ 11 แสดงขดลวด Yoke coil ของทีวี

ขดลวด Yoke coils ตามรูปที่ 10 จะมี 2 ชุด เรียกว่าชุด Horizontal (H_1&H_2) เพื่อให้อิเล็คตรอน***เบนในแนวราบ ขดลวดชุดนี้จึงต้องวางอยู่ในแนวดิ่ง*** ขดลวดอีกชุดหนึ่งเรียกว่าชุด Vertical (V_1&V_2)เพื่อให้อิเล็คตรอน***เบนในดิ่ง ขดลวดชุดนี้จะวางอยู่ในแนวราบ*** ความจริงถ้าต้องการสร้างขดลวดขึ้นมาทดลองโดยเฉพาะก็ไม่จำเป็นต้องสร้างขดลวดถึง 4 ขด เนื่องจาก Yoke coil แต่ละชุดใช้ขดลวดเพียงขดเดียวก็พอ ในแง่ที่เป็นอุปกรณ์ใช้สอนฟิสิกส์แล้วการมีขดลวดชุดละขดจะดีกว่าชุดละสองขดเพราะการเรียนรู้หลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์(physics principle)นั้นจะต้องใช้อุปกรณ์ให้มีจำนวนน้อยๆไว้ก่อน การใช้อุปกรณ์มากโดยมีเป้าหมายการเรียนรู้เท่าเดิมจะทำให้เสียเวลามากขึ้น!!! นักเรียนจะงงมากขึ้น!!! *แต่ถ้าต้องการให้เรียนรู้ในแง่ของเทคโนโลยี การมีขดลวด 4 ขดย่อมดีกว่า เพราะอะไร??*

3) วงจรอิเล็คทรอนิกส์ควบคุมกระแสให้ Yoke coils

ถ้าเราปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า(DC) ทั้งขนาดและทิศทางที่ป้อนให้ขดลวด Yoke coils จะสามารถควบคุมให้จุดบนจอทีวีไปอยู่ ณ ที่ส่วนใดของจอก็ได้ เนื่องจากขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ทำให้ลำอิเล็คตรอนเบนไปนั้นขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่เราป้อนให้ขดลวด ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้านี้เป็นไปตามกฎของ Biot-Savart การทดลองทดลองนี้จึงเป็นการพิสูจน์กฎ Biot-Savart นี้ได้อีกทางหนึ่ง

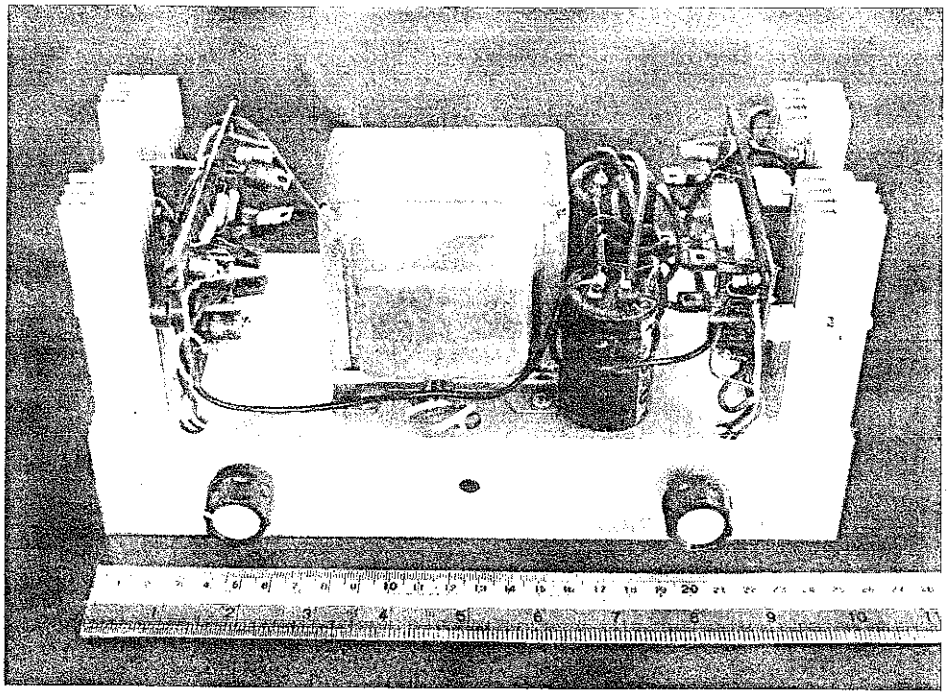
วงจรอิเล็คทรอนิกส์นี้เป็นแหล่งจ่ายไฟชนิดหนึ่งเปรียบเสมือนถ่านไฟฉาย ต่างจากถ่านไฟฉายตรงที่วงจรอิเล็คทรอนิกส์สามารถปรับค่าแรงดัน(ปรับกระแส) และเปลี่ยนทิศทางของกระแสได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนขั้วไฟ วงจรจะเป็นตามรูป



รูปที่ 12 วงจรควบคุมกระแสให้ Yoke coil 0 -2A

วงจรตามรูปเป็นเพียงวงจรเพียงชุดเดียวในการใช้งานจริงจะต้องใช้ 2 ชุด โดยใช้วงจรเดียวกัน ควบคุม Hor. coil และ Ver. coil อย่างละชุด การปรับขนาดและทิศทางของกระแสทำได้โดยปรับค่า VR 500Ω ที่ต่อไว้ทางด้านอินพุทของวงจร สนามแม่เหล็กที่กระทำบนลำอิเล็คตรอนจะเป็นสนามแม่เหล็กรวม(แรงลัพธ์) ที่เกิดจากสนามแม่เหล็กจากขดลวดทั้งสองรวมกัน เป็นไปตามหลักการรวมเว็คเตอร์ หรือรวมแรงที่นักศึกษาได้เรียนมาแล้วอย่างดี!!!

การสร้างวงจรควบคุมกระแสให้ขดลวดนี้จะต้องมีพื้นฐานความรู้ทางอิเล็คทรอนิกส์พอสมควร วงจรทั้งสองข้างจะใช้แหล่งจ่ายไฟร่วมกันโดยใช้หม้อแปลงที่ให้แรงดันเอ้าพุท(secondary coil) 6 - 0 - 6 Vac และกระแสประมาณ 4 A (เนื่องจากวงจรแต่ละข้างต้องการกระแสไม่เกิน 2 A ถ้าใช้พร้อมกันจะใช้กระแสรวมประมาณ 4 A) เมื่อ Rectify โดยใช้ Bridge Diode จะได้แรงดัน -8.4 Vdc GND +8.4 Vdc (6 Vac ทำไมกลายเป็น 8.4 Vdc ได้?? คนที่มีความรู้เรื่องแรงดัน rms จะรู้ดี) เมื่อประกอบเสร็จจะได้เครื่องควบคุมกระแสที่ประกอบไปด้วยวงจร 2 ชุดสำหรับ Hor. Coil และ Ver. coil ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟร่วมกันตามรูป



รูปที่ 13 ภาพถ่ายเครื่องควบคุมกระแสให้ขดลวด Yoke Coils

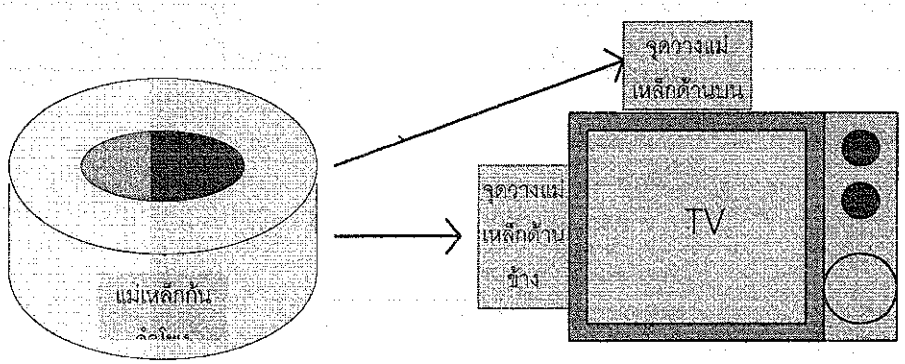
การทดลอง/การสาธิต

การทดลองอุปกรณ์ชุดนี้เป็นการใช้อุปกรณ์ที่กล่าวมา ตรวจสอบว่าความสัมพันธ์ของแรงบนประจุที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กจะเป็นไปตามกฎแรง Lorentz หรือไม่?? โดยการทดลองนี้จะเน้นที่ $F = qv \times B$ ซึ่งเป็นแรงที่จะทำให้ลำอิเล็คตรอนที่วิ่งไปชนจอภาพ(เป็นจุดหรือวงเล็กๆ) เบนไปตก ณ จุดต่างๆบนจอภาพ จะตกจุดใดขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เราป้อนให้

1) **ทดลองโดยใช้แม่เหล็กถาวร**(2 แท่ง)

แม่เหล็กถาวรในอุปกรณ์ชุดนี้ได้มาจากก้นลำโพงเก่า เลือกเอาที่ขนาดใหญ่ๆหน่อย แม่เหล็กชนิดนี้เป็นแม่เหล็ก Alnico (ได้จาก อะลูมิเนียม,นิเกิลและโคบอลท์ ผสมกัน) เป็นแม่เหล็กที่ให้ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงกว่าแม่เหล็กที่สร้างมาขายตามร้านขายอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ แถมยังรักษาความเป็นแม่เหล็กได้ยาวนานกว่าอีกด้วย ให้นักศึกษาไปขอซื้อได้ตามร้านซ่อมเครื่องเสียงได้โดยทั่วไปในราคาของเก่าที่ช่างก็ไม่รู้จะเอาไปทำอะไรแล้ว พูดดีๆเผลอๆได้ฟรีๆ โดยเฉพาะอาจารย์สอนวิทยาศาตร์ถ้าไปเจอเอาร้านผู้ปกครองของนักเรียนที่ท่านสอนอยู่ละก็รับรองได้ทั้งแจกและแถมเชียว!!!

แม่เหล็กก้นลำโพงดังกล่าวนี้มักจะมีรูปร่างเป็นวงกลม ระวังอย่าเข้าใจว่าเป็นแม่เหล็กวงแหวน(แม่เหล็กวงแหวนมีคุณสมบัติอย่างไร???) ขั้วของแม่เหล็กจะอยู่ทางปลายตัด ส่วนขั้วไหนจะอยู่ด้านไหน?? ให้ใช้ความรู้พื้นฐานทดลองดูก็จะรู้ได้เอง อาจจะจัดเป็นการทดลองขั้นหนึ่งถ้าใช้สอนประถมปลายหรือมัธยมต้น



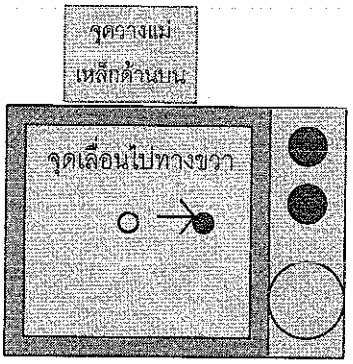
รูปที่ 14 แม่เหล็กก้นลำโพงและจุดที่วางแม่เหล็กกับ TV

การทดลองทำได้โดยเปิด TV เมื่อมองเห็นจุดขาว ณ กึ่งกลางจอภาพวางแม่เหล็กจากนั้นให้ทดลองตามขั้นตอนดังนี้

1) วางแม่เหล็กไว้บนทีวี สังเกตว่าจุดบนทีวีจะเลื่อนไปทางไหน? จากนั้นกลับขั้วแม่เหล็กสังเกตว่าจุดบนทีวีจะเลื่อนไปในทิศตรงข้ามหรือไม่? การทดลองนี้สามารถทดสอบหาขั้วแม่เหล็ก N และ S ของแท่งแม่เหล็กได้??

ท่านหาได้หรือยังว่าขั้วไหนเป็นขั้วเหนือ? ขั้วไหนเป็นขั้วใต้?? ถ้ายังหาไม่ได้อย่าข้ามขั้นนี้ไป ให้ทดลองพร้อมกับการคิดตามหลักของแรงตามกฎมือซ้าย ***ยกมือซ้ายขึ้นมาแล้วชี้นิ้วกลางเข้าไปในหน้าจอทีวี จากนั้นหันนิ้วหัวแม่มือให้ชี้ไปตามทิศที่จุดขาวบนจอเลื่อนไป*** ดูตัวอย่าง

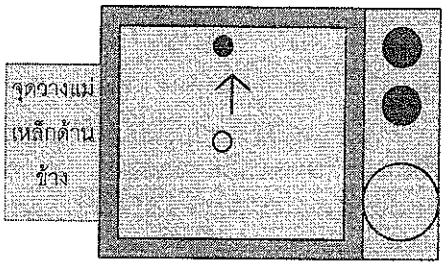
ตัวอย่างตามรูป เมื่อวางแม่เหล็กไว้บนทีวี (สมมุติว่าเราไม่รู้ว่าขั้วไหน N หรือ S มาก่อน) จุดขาวเลื่อนไปทางขวามือจากนั้นกางนิ้วมือซ้ายออก ให้นิ้วกลางชี้เข้าหน้าจอทีวี(ตามทิศ v) หันนิ้วหัวแม่มือชี้ไปทางขวามือ(ตามทิศ F) จากนั้นจะเห็นว่านิ้วชี้ของเราชี้ขึ้น แสดงว่าสนามแม่เหล็กมีทิศชี้ขึ้น ดังนั้นด้านบนของแม่เหล็กต้องเป็นขั้ว N และด้านล่างเป็นขั้ว S



รูปที่ 15 แสดงตัวอย่างเมื่อวางแม่เหล็กแล้วจุดเลื่อนไปทางขวา

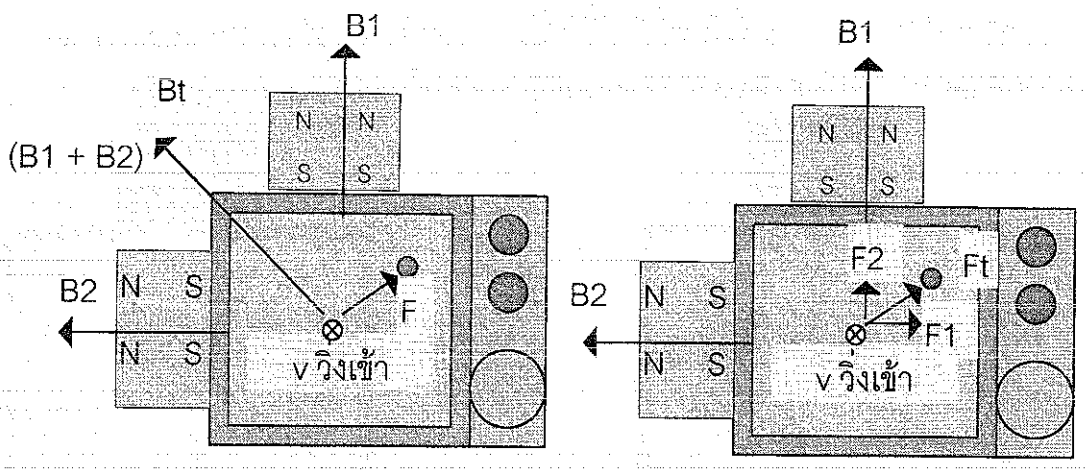
2) ให้ทดลองนำแม่เหล็กมาวางทางด้านข้างซ้ายของทีวี วางด้านขวาได้ไหม?? ไม่ค่อยเห็นผล จุดเบนไปน้อย!! เพราะอะไร?? ลองคิดดู!!! จากนั้นให้กลับขั้วแม่เหล็ก(วางที่เดิม)

ให้ทดลองกางนิ้วมือซ้ายออก ชี้นิ้วกลางเข้าไปในจอ(ทิศ v) นิ้วหัวแม่มือชี้ขึ้น(ทิศ F) จะได้ทิศ B ชี้ไปทางซ้ายมือ จริงหรือเปล่า?? แสดงว่า ขั้ว N อยู่ด้านซ้าย Sอยู่ด้านขวา !!



รูปที่ 16 แสดงตัวอย่างเมื่อวางแม่เหล็กด้านข้างแล้วจุดเลื่อนขึ้นด้านบน

3)ให้วางแม่เหล็กทั้งด้านบนและด้านข้างพร้อมกันจะเห็นว่าคราวนี้จุดจะเบนไปตามเส้นทะแยงมุมของทีวี เพราะอะไร??? ให้พิจารณาเรื่องเวคเตอร์ หรือการรวมแรง 2 แรง ก็จะเข้าใจได้ ขั้นตอนนี้สามารถใช้สอนเรื่องการรวมเวคเตอร์ได้อย่างดี



ก) รวมสนาม B *ข) รวมแรง F*

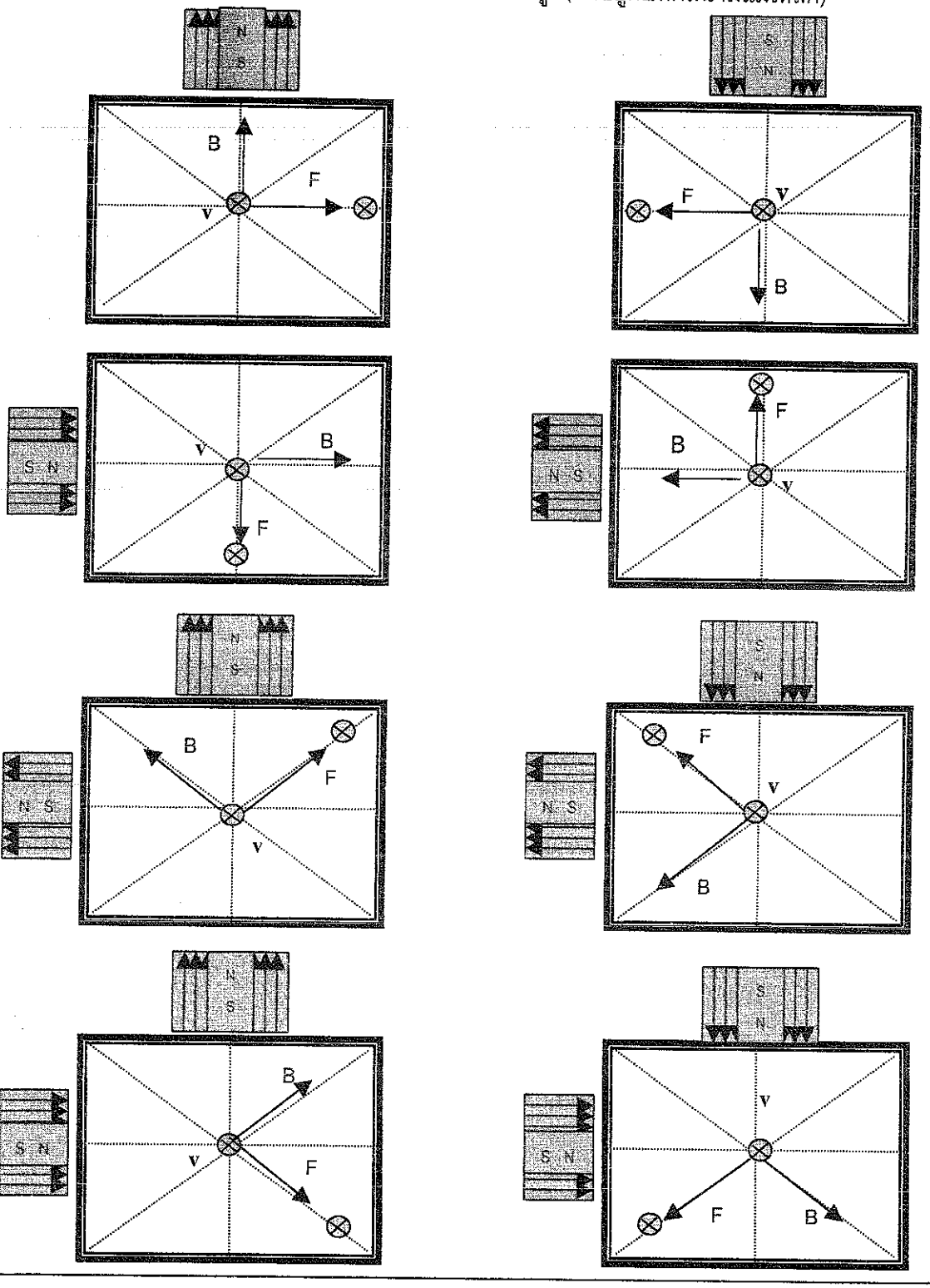
รูปที่ 17 แสดงตัวอย่างเมื่อวางแม่เหล็กด้านบนและด้านข้างพร้อมกัน จะทำให้จุดเลื่อนไปตามเส้นทะแยงมุมหรือตามแรงลัพธ์

ผลการทดลองตามรูปที่ 16 จะทำให้จุดเลื่อนไปตามเส้นทะแยงมุมนั้น ในทางทฤษฎีเราอาจคิดได้สองวิธี *คือวิธีแรกคิด*ว่าสนามแม่เหล็กทั้งสองเกิดการรวมตัวกันก่อนแล้วเหลือสนามแม่เหล็กลัพธ์ Bt อันเดียว ซึ่งก็จะหาแรง F ได้แรงเดียวตามรูป (ก) *วิธีที่สองคิด*ว่าสนามแม่เหล็กไม่ได้รวมกัน ดังนั้นแต่ละสนามก็จะทำให้เกิดแรงของตัวเอง จึงมีแรงที่กระทำกับลำอิเล็คตรอน 2 แรง ในแนวดิ่งและแนวราบอย่างละแรง จากนั้นเราก็รวมแรงทั้งสองเข้าด้วยกันตามหลักการรวมเวคเตอร์ ก็จะได้แรงลัพธ์เป็นไปตามรูป (ข) จะเห็นว่าของจริงๆตามธรรมชาตินั้นมีได้กรณีเดียวเท่านั้น แต่การคิดทำได้ตั้งหลายวิธี นี่แหละฟิสิกส์!! ฟิสิกส์ที่แท้จริงต้องว่าไปตามสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจริงๆไม่ใช่เอาตามที่เราคิดได้หรือคำนวณได้ จึงต้องมีการทดลองจริงๆ ตัวอย่างนี้สอนใจพวกเราได้ทางหนึ่งว่าการรู้แต่เพียงทฤษฎีนั้นบางทีก็ไม่อาจทำให้เราเข้าใจธรรมชาติได้อย่างแท้จริง เข้าใจไม่ถึงกึ่งว่างั้นเถอะ!!

การทดลองโดยใช้แม่เหล็กถาวรนี้มักมีความคลาดเคลื่อนมาก ถ้าแม่เหล็กมีกำลังแม่เหล็กน้อยอาจเห็นผลไม่ชัดเจน และยังขึ้นอยู่กับจุดที่วางด้วยให้ทดลองขยับจุดวางดูจะเห็นว่าทิศทางการเบนของจุดหน้าจอจะเลื่อนไปทางใดทางหนึ่ง

ถ้าจะให้เห็นผลชัดเจนต้องใช้แม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าจากถ่านไฟฉายหรือจากวงจรควบคุมที่สร้างขึ้น ในการทดลองโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้านั้นเราสามารถทำให้จุดหน้าจอทีวีเลื่อนไปอยู่ ณ ตำแหน่งใดก็ได้บนหน้าจอ แต่ถ้าใช้แม่เหล็กถาวรจะได้ตำแหน่งที่จุดเลื่อนไป 8 ตำแหน่งขึ้นอยู่กับการวางและขั้วแม่เหล็กตามรูป

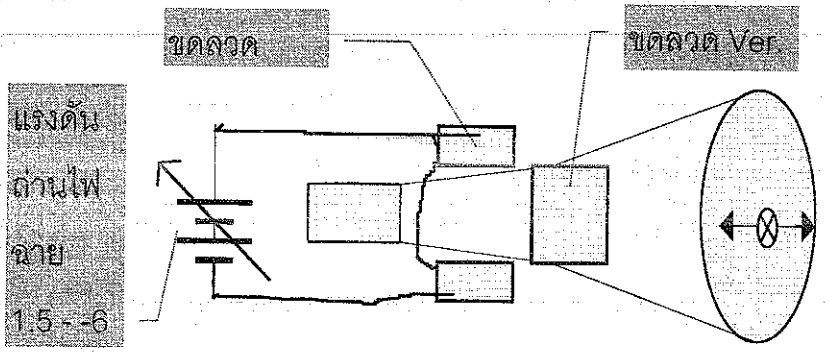
สรุปจากสมการ $F = qE + qv \times B$ ประจุ(+q):ซึ่งวิ่งเข้าไปในหลอดภาพ(v) และมีสนามแม่เหล็ก(B) จะเกิดแรง(F) ที่จะทำให้ลำแสงเบนไปตามรูป(ขึ้นอยู่กับทิศสนามแม่เหล็ก)



2) ทดลองโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้า(2 ชุด)

การใช้แม่เหล็กไฟฟ้าก็คือการใช้ขดลวด Yoke coils โดยเราจะป้อนกระแสจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงให้ขดลวด กระแสนี้อาจได้จากถ่านไฟฉาย เครื่องจ่ายไฟ(DC voltage regulator) ที่ปรับค่าแรงดันได้ที่มีใช้อยู่แล้วในห้อง Lab. หรือใช้วงจรควบคุมกระแสให้ขดลวดที่ออกแบบสร้างขึ้นมาใช้งานโดยเฉพาะตามคู่มือนี้

1) การทดลองจะเริ่มจากการใช้ถ่านไฟฉายเป็นตัวป้อนกระแสให้ขดลวด โดยถ่านไฟฉาย 4 ก้อนบรรจุในรังถ่านที่มีขั้วเสียบชนิดที่สามารถเลือกใช้แรงดันจากถ่นไฟฉาย 1,2,3 หรือ4ก้อนก็ได้ โดยต่อขั้วถ่านไฟฉายเข้ากับขดลวด Yoke coil ที่แจ๊กที่ได้ติดตั้งไว้แล้วด้านหลังตัวถังทีวี โดยต่อคู่ใดคู่หนึ่งก่อน เช่นป้อนให้ขดลวด Hor. coil ซึ่งขดลวดจะยึดติดคอหลอดทีวีในแนวดิ่งแต่ทำให้เกิดการเบนของลำอิเล็คตรอนในแนวราบ ตามรูป



รูปที่ 19 แสดงการต่อกระแสตรงจากถ่านไฟฉายเข้ากับขดลวด Hor.

ตามรูปเมื่อเลือกใช้ถ่านไฟฉายก้อนเดียวจะเห็นจุดหน้าจอเลื่อนไปทางแนวราบเพียงเล็กน้อย ให้ทดลองเปลี่ยนขั้วเสียบเพิ่มแรงดันเป็น 2,3 และ4 ก้อนตามลำดับ(ได้แรงดัน 1.5V,3V,4.5Vและ6Vตามลำดับ)จะเห็นว่าจุดบนหน้าจอเบนไปมากขึ้นตามแรงดันที่เพิ่มขึ้น

2) ให้ทดลองกลับขั้วถ่านไฟฉาย แล้วทดลองตามข้อ 1) จะเห็นว่าจุดหน้าจอเลื่อนมาด้านตรงข้ามกับข้อ 1) โดยระยะที่เบนไปจะขึ้นอยู่กับแรงดัน หรือขึ้นอยู่กันจำนวนก้อนของถ่านไฟฉายที่เสียบใช้งานในขณะนั้น

3) ให้ทดลองเปลี่ยนมาต่อแหล่งจ่ายไฟ(ถ่านไฟฉาย)เข้ากับขดลวด Ver. ดูบ้าง โดยทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 1) และ2) จะเห็นว่าตอนนี้จุดหน้าจอจะเบนไปในแนวดิ่ง ระยะที่เบนไปจะขึ้นอยู่กับแรงดัน

(หรือกระแส)ที่ป้อนให้ และทิศทางที่เบนไป(ขึ้นหรือลง)จะขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟ(ขึ้นอยู่กับการต่อขั้วใดของถ่านไฟฉาย)ที่ป้อนให้ขดลวด

4) ให้ทดลองต่อแหล่งจ่ายไฟเข้าทั้ง Ver. coil และHor. coil พร้อมกันโดยใช้ถ่านไฟฉายคนละชุด แล้วทดลองปรับทั้งขนาดและทิศทางของกระแสที่ป้อนให้เช่นเดียวกับการทดลองตามข้อ 1),2) และ3)

5) เปลี่ยนจากถ่านไฟฉายมาเป็นแหล่งจ่ายไฟที่เป็นเครื่องอิเล็คทรอนิกส์แทน จะใช้ DC Voltage Regulator Power Supply ที่มีอยู่ในห้อง Lab. หรือจะใช้แหล่งจ่ายไฟที่สร้างขึ้นมาโดยเฉพาะในคู่มือนี้ การทดลองนี้มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับการทดลองตามข้อ1) ถึง4) ที่ทดลองมาแล้วเพียงแต่เปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟไปเป็นเครื่องจ่ายไฟอิเล็คทรอนิกส์แทนเท่านั้น ผลเป็นอย่างไรบ้าง?? ทดลองดูก็จะรู้ดี

อย่าลืมว่ารู้จากการทดลองด้วยตนเองจะให้ความรู้ที่ลึกซึ้งชัดเจนได้ดีกว่าที่ครูอาจารย์คอยบอกให้ เพราะเป็นความรู้ที่ได้จากประสพการณ์ตรงจากปรากฏการณ์ธรรมชาติจริง ความรู้ชนิดนี้จะเข้าไปอยู่ในสมองของผู้ทดลองที่เป็นความจำถาวร ทำให้หายสงสัย ยากที่จะลืม โดยไม่มีความรู้ใดๆที่ได้มาโดยวิธีอื่นใดจะมาเทียบได้ เปรียบเสมือนเราขี่จักรยานเป็น ต่อให้เลิกขี่ไป 10 ปี เมื่อกลับมาขี่ใหม่ก็จะยังขี่ได้เช่นเคย แต่ถ้าเรียนขี่จักรยานบนกระดานดำตามครูสอนโดยไม่ได้ทดลองขี่จริงๆละก็คุณเอ๋ย!!! ต่อให้คุณเรียนไป 100 ปี ก็ไม่อาจจะขี่จักรยานได้จริง???

จริงอยู่การหัดขี่จักรยานจริงจะต้องใช้เวลายาวนานกว่าการเรียนขี่จักรยานบนกระดานดำ แต่....แต่ การหัดขี่จักรยานบนกระดานดำจะมีประโยชน์อะไรกับชีวิตคุณล่ะ?? เราเรียนวิทยาศาสตร์ก็เพราะต้องการเข้าใจธรรมชาติจริง ๆเพื่อนำความรู้ความเข้าใจนั้นไปพัฒนาประเทศชาติให้ใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์ได้จริงมิใช่หรือ???... .....หรือว่าแค่ท่อง ๆจำ ๆเอาไว้เพื่อทุ่มเถียงวิภาควิจารณ์กับคนอื่นได้???....ถ้ายังงั้นเราก็คงเป็นของเก่า ๆที่เก่าไปวัน ๆ!!!!!!

วิชาความรู้ที่ได้จากการศึกษาเล่าเรียน
เมื่อเปรียบกับความลึกล้ำแห่งประสบการณ์ที่แท้แล้ว
ก็เป็นเพียงหยาดน้ำหยดหนึ่งที่หยดลงหุบเหวเท่านั้น

เซนไค ชิบายามะ