การพัฒนาชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1
Development of theExperimental Set for Refractive Index Measurements of Liquids version 1.1

กาญจนา จันทร์ประเสริฐ

อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

โทร. 089 - 4788367 E-mail: kanchanprasert@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.0 ไปสู่แบบ 1.1 โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ปรับมุมตกกระทบจากแผ่นวัตถุสี่เหลี่ยมที่มีความหนา 3 ระดับไปสู่ฐานพื้นเอียง 2) ทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลว 1.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นอาจารย์ผู้สอนวิชาฟิสิกส์ภาควิชาฟิสิกส์ จำนวน 2 คน นักศึกษาหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการสอนวิทยาศาสตร์เอกฟิสิกส์ จำนวน 3 คน นักศึกษาวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ชั้นปีที่ 1 จำนวน 45 คนเป็นกลุ่มเป้าหมายเจาะจง ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนมุมตกกระทบจากแผ่นวัตถุสี่เหลี่ยมที่มีความหนา 3 ระดับของชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.0 เป็นวัตถุที่มีรูปเป็นสามเหลี่ยมของชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1 และทดสอบประสิทธิภาพโดยทดลองหาค่าดัชนีหักของของเหลว 4 ชนิด คือน้ำ กลีเซอรีน น้ำเชื่อมความเข้มข้น 50% และน้ำมันปาล์ม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.336-1.371, 1.437-1.508, 1.393-1.434 และ 1.393-1.502 ตามลำดับ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเลื่อนน้อยกว่า 5%

***คำสำคัญ**: ชุดทดลอง ดัชนีหักเห น้ำ กลีเซอรีน น้ำเชื่อมความเข้มข้น 50% น้ำมันปาล์ม*

Abstract

The objectives of this work were 1) to reconstruct the refractive index experimental setfrom version 1.0 to version 1.1 by changing the part of the varied angle of incidence from rectangle plate with three steps of thickness to triangle and 2) to study the efficiency of them. Two physics lecturers, 3 students from master of art program (teaching science-physics) and 45 students from the college of engineer were the target group in this study.The results revealed that the researcher changed the part of the varied angle of incidence from rectangle plate with three steps of thickness to triangle and used to the efficiency of them by experiment. The average refractive indices of 4 types of liquids; water, glycerine, 50% of syrup and palm oil were 1.336-1.371, 1.437-1.508, 1.393-1.434 and 1.393-1.502, respectively. The error percentage of this simple refractive index experimental set was less than 5%

***Keywords**: experimental set, refractive index, water, glycerin, 50% of syrup, palm oil*

บทนำ

วิชาฟิสิกส์เป็นวิชาหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นรายวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับความจริงที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจในปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้น สามารถค้นหาสาเหตุและผลที่เกิดขึ้น นอกจากนี้วิชาฟิสิกส์ยังเป็นพื้นฐานสำคัญของการนำไปประยุกต์ในวิชาต่างๆ เช่น วิศวกรรมศาสตร์ แพทยศาสตร์ เป็นต้น ตลอดจนก่อให้เกิดการพัฒนาด้านเทคโนโลยีอย่างมากมาย (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2543) ดังนั้นในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในประเทศไทยจึงกำหนดให้มีการเรียนการสอนรายวิชาฟิสิกส์ในทุกระดับการศึกษา แต่จากรายงานผลการศึกษาด้านการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และฟิสิกส์ทั้งในระดับมัธยมศึกษา และระดับอุดมศึกษาหลายเรื่องพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำกว่าเกณฑ์ที่มุ่งหวัง และจากการศึกษาถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดสถานการณ์ดังกล่าวพบว่าปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และฟิสิกส์ คือครูและรวมถึงการขาดแคลนทรัพยากรการเรียน ได้แก่ วัสดุการเรียนการสอน วัสดุห้องสมุด และอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ เมื่อศึกษาต่อไปพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับครู คือ การจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ที่ขาดประสิทธิภาพและประสิทธิผล ซึ่งเทคนิควิธีการสอนวิชาฟิสิกส์นั้นมีหลายรูปแบบและหนึ่งในหลายรูปแบบนั้น คือ วิธีสอนแบบปฏิบัติการหรือการทดลอง (Laboratory Method) ที่เป็นวิธีสอนที่มุ่งให้ผู้เรียนได้เข้าใจเนื้อหาทฤษฎีจากการปฏิบัติจริง ได้ฝึกฝนทักษะในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างลึกซึ้ง ให้ผู้เรียนฝึกและทำความเข้าใจกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นต่อการศึกษาค้นคว้าหรือแก้ปัญหาเชิงปฏิบัติ ฝึกทั้งด้านความคิดและด้านลงมือปฏิบัติจริง โดยฝึกเชื่อมโยงความรู้ภาคทฤษฎีเข้ากับสถานการณ์จริง (สุรพล วิหคไพบูลย์, 2543; พันศักดิ์ สายแสงจันทร์, 2544; ลือเดช ปิตุพงศ์, 2553) วิชาฟิสิกส์เป็นวิชาที่มีสูตร สมการมากมายทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึกท้อในการรับรู้ แต่ถ้ามีการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่แสดงเหตุและผลของสมการเหล่านั้นที่เป็นรูปธรรม จะถือว่าเป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ทำให้ความเป็นนามธรรมไปสู่ความเป็นรูปธรรมได้อย่างชัดเจน เพราะเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจะเป็นตัวการสำคัญที่นำเอาความรู้และประสบการณ์เข้าไปสู่การรับรู้ของผู้เรียนที่จะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และเชื่อมโยงกับภาคทฤษฎีอย่างชัดเจนช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนที่ยุ่งยากซับซ้อนได้ง่ายขึ้นในระยะเวลาอันสั้น และช่วยให้เกิดความคิดรวบยอดในเรื่องนั้นได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว (นพพร เสนีย์คุปต์, 2547) ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่เหมาะสมเป็นตัวชี้ถึงประสิทธิภาพของการเรียนการสอนในครั้งนั้นๆ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว จะพบว่ามีการเลือกใช้สื่อที่ทำให้เกิดการรับรู้ที่ไม่เหมาะสมกันมากอันเนื่องมาจากยึดเอาความสะดวกคุ้นเคยของผู้สอนซึ่งจะทำให้ผู้เรียนจะรับรู้และเกิดผลของการเรียนรู้แตกต่างกันอย่างแน่นอน แต่ปัญหาใหญ่ที่พบอีกประการคือ ครูที่รับผิดชอบสอนในรายวิชาฟิสิกส์ หรือรายวิชาวิทยาศาสตร์ หลีกเลี่ยงที่จะทำการทดลอง ซึ่งไม่ใช่เกิดขึ้นกับเฉพาะครูไทยเท่านั้น แม้แต่ในประเทศที่มีการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ก้าวหน้าและทันสมัยก็เกิดปัญหานี้เช่นเดียวกัน (Sumrall, 1997) เหตุผลที่ครูหลีกเลี่ยงการสอนวิทยาศาสตร์โดยให้มีการทดลองนั้น William J. Sumrall สรุปไว้ 5 ประการ คือ ครูทำงานมากขึ้น ยุ่งยากเกินไป ครูขาดความรู้ทางเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ต้องใช้เวลาในการสอนเพิ่มขึ้น และ อุปกรณ์ไม่เพียงพอ ดังนั้นวิธีที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้แนวทางหนึ่ง คือการสร้างอุปกรณ์ขึ้นมาเพื่อช่วยให้มีอุปกรณ์เพียงพอ ในการเรียนการสอน และยังช่วยทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างกว้างขวางลึกซึ้งยิ่งขึ้น อันจะช่วยให้เกิดความเข้าใจในบทเรียน (Sharma, 1982) การที่ครูได้ผลิตอุปกรณ์ขึ้นใช้เองนั้นจะได้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับบทเรียนที่สอนมากกว่าอุปกรณ์ที่จัดซื้อมา

การจัดการเรียนรู้เรื่องแสงในรายวิชาฟิสิกส์ เป็นหัวข้อหนึ่งที่ผู้สอนทั้งในระดับมัธยมศึกษาหรืออุดมศึกษาพบปัญหาในการจัดการเรียนรู้ให้กับผู้เรียน เช่นการอธิบายสมบัติของคลื่นที่เป็นปรากฏการณ์พื้นฐานของแสง เช่น การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบนและการแทรกสอด ซึ่งเนื้อหาดังกล่าวมีความสำคัญมากในการเรียนเรื่องแสง ส่วนใหญ่การอธิบายจะใช้รูปภาพในหนังสือหรือวาดภาพบนกระดานแต่ถ้าผู้สอนไม่มีศักยภาพในด้านการวาดภาพที่เพียงพอจะทำให้ภาพที่วาดไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงตามปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดจินตนาการที่คลาดเคลื่อนจากทฤษฎี ไม่เข้าใจเนื้อหาที่ถูกต้อง

เป็นผลให้ผู้เรียนเกิดความเบื่อหน่ายต่อการเรียนรู้ ไม่สนใจกับการเรียน จินตนาการของผู้เรียนนั้นกล่าวได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในวิชาฟิสิกส์ดังวาทะอมตะของอัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ ที่กล่าวไว้ว่า “จินตนาการสำคัญกว่าความรู้” (imagination is more important than knowledge) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะออกแบบและสร้างชุดทดลองอย่างง่ายสำหรับหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวที่นำไปใช้ในการเรียนรู้แบบปฏิบัติการในรายวิชาฟิสิกส์หัวข้อเรื่องการสะท้อนและการหักเหของแสง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นชุดทดลองทั้งในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและระดับปริญญาตรีโดยผู้วิจัยได้พัฒนาชุดทดลองอย่างง่ายสำหรับหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวเวอร์ชั่น 1.0 โดยปรับปรุงจากชุดทดลองเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวโดยอาศัยกฎของสเนลล์และ การหักเหของแสงเลเซอร์ผ่านตัวกลางต่างชนิดของ ผิวผ่อง ทมานนท์และนิรันดร์ วิทิตอนันต์ (2556) เพื่อให้มีความสะดวกและใช้งานง่าย เมื่อนำมาใช้ในการจัดการเรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ในภาคเรียนที่ 3/2557 พบว่าผลการทดลองหาค่าดัชนีหักของของเหลว 3 ชนิด คือ น้ำ กลีเซอรีน และน้ำเชื่อมความเข้มข้น 50% มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยอยู่ระหว่าง 4% ถึง 10% (กาญจนา จันทร์ประเสริฐ, 2558) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะปรับปรุงชุดทดลองอย่างง่ายสำหรับหาค่าดัชนีหักเหของของเหลว 1.1 จากชุดทดลองอย่างง่ายสำหรับหาค่าดัชนีหักเหของของเหลว 1.0 เพื่อให้มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5%

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) พัฒนาชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1 โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ปรับมุมตกกระทบของชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.0

2) ทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นอาจารย์ผู้สอนวิชาฟิสิกส์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่มีประสบการณ์สอนวิชาฟิสิกส์มากกว่า 15 ปี จำนวน 2 คน นักศึกษาหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการสอนวิทยาศาสตร์เอกฟิสิกส์ จำนวน 3 คน นักศึกษาวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ ภาคเรียนที่1 ปีการศึกษา 2558 ที่อาสาสมัครจำนวน 45 คน เป็นกลุ่มเป้าหมายในการศึกษา

ขอบเขตของการวิจัย

1) พัฒนาชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1 โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ปรับมุมตกกระทบของชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.0

2) ทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ1.1โดยทดลองหาค่าดัชนีหักของของเหลว 4 ชนิด คือน้ำ กลีเซอรีน น้ำเชื่อมความเข้มข้น 50% และน้ำมันปาล์ม

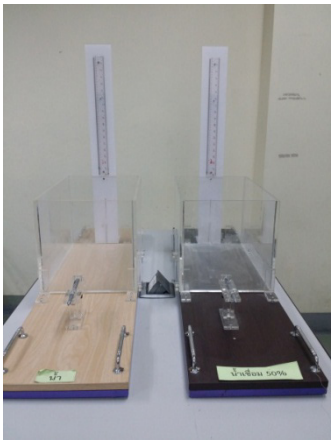
นิยามคำศัพท์เฉพาะ

ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ1.1ในการวิจัยครั้งนี้ หมายถึงชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวที่พัฒนาโดยผู้วิจัยเพื่อวัดค่าดัชนีหักเหของของเหลวโดยใช้กฎของสเนลล์สามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ในการเรียนรู้แบบปฏิบัติการเรื่องคลื่นในวิชาฟิสิกส์ได้สะดวกขึ้น

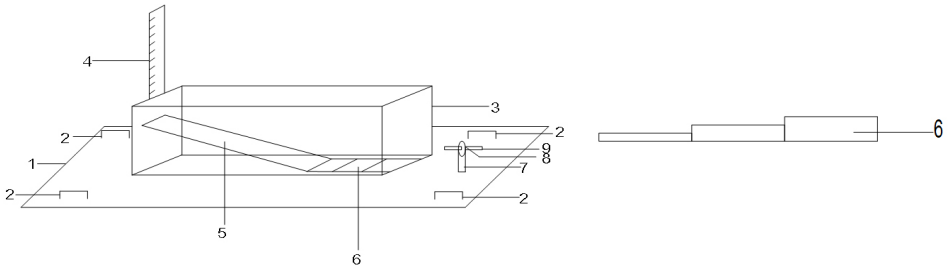
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1 มีขั้นตอนดังนี้

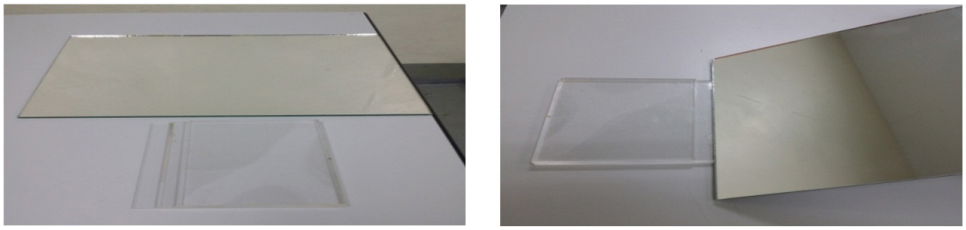
ก. นำชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.0 ที่มีส่วนประกอบด้วยฐานสี่เหลี่ยมพื้นผ้า (1) ติดตั้งมือจับ (2) จำนวน 4 อัน กล่องใสสี่เหลี่ยมผืนผ้า (3) ไม้บรรทัดที่มีขีดสเกล (4) กระจกเงาสี่เหลี่ยมผืนผ้า (5) แผ่นอะครีลิกสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความหนา 3 ระดับ (6) แท่งสี่เหลี่ยม (7) แผ่นวงกลมเจาะรู (8) และปากกาเลเซอร์ (9) ตามรูป 1 ถึง รูป 3 มาปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ปรับมุมตกกระทบเป็นอะครีลิกที่เป็นรูปสามเหลี่ยมตามรูป 4 และ รูป 5



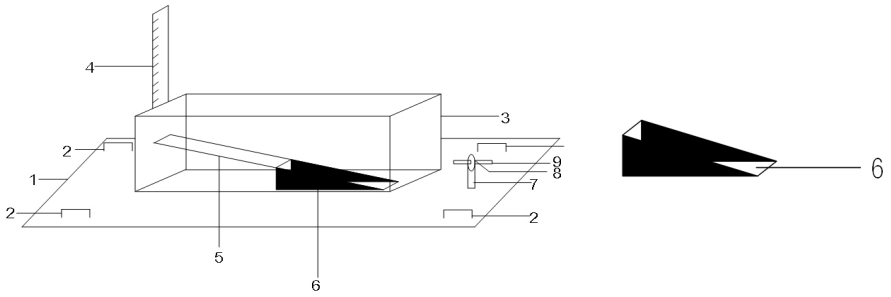
รูป 1 ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ1.0



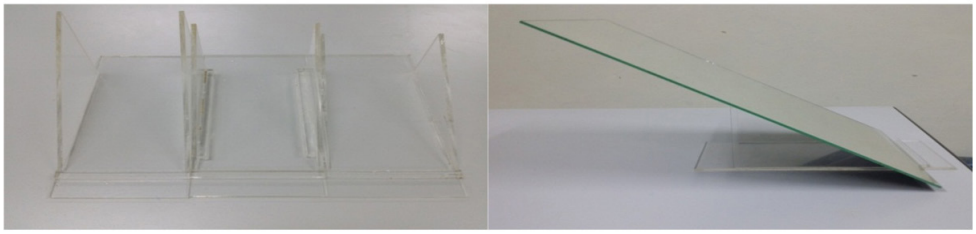
รูป 2 รายละเอียดชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ1.0



รูป 3 อุปกรณ์ปรับมุมตกกระทบของชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ1.0

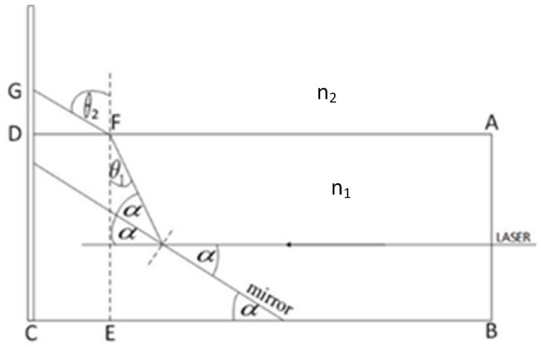


รูป 4 รายละเอียดชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ1.1



รูป 5 อุปกรณ์ปรับมุมตกกระทบของชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1

ข. กลุ่มเป้าหมายหาประสิทธิภาพของชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1 และคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากผลการทดลอง (รูป6)



รูป 6 แผนผังการสะท้อนและการหักเหของเลเซอร์

จากรูป 6

F หมายถึง ตำแหน่งที่แสงหักเหจากผิวน้ำหลังจากการสะท้อนที่กระจกในชุดทดลอง

D หมายถึง ตำแหน่งที่อยู่ในระนาบเดียวกับตำแหน่ง F บนสเกลไม้บรรทัด (ระนาบผิวน้ำ)

G หมายถึง ตำแหน่งที่แสงตกกระทบบนสเกลไม้บรรทัด

DF หมายถึง ระยะจากตำแหน่ง D ถึง F

DG หมายถึง ระยะจากตำแหน่ง D ถึง G

α หมายถึง มุมที่กระจกกับแนวราบ
θ_1 หมายถึง มุมตกกระทบ
θ_2 หมายถึง มุมหักเห
n_1 หมายถึง ค่าดัชนีหักเหของของเหลวที่ใช้ในการทดลอง
n_2 หมายถึง ค่าดัชนีหักเหของอากาศ

คำนวณหาค่าดัชนีหักเห

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \quad (1)$$

$$= n_2[\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}] \quad (2)$$

$$n_1 = n_2[\frac{\sin(\tan^{-1}\frac{DF}{DG})}{\sin(90^0 - 2\alpha)}] \quad (3)$$

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการเก็บข้อมูลและวิธีการใช้ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ1.1ให้กลุ่มเป้าหมายทราบ
2. กลุ่มตัวอย่างทำการทดลองตามคู่มือปฏิบัติการเรื่องคลื่น โดยใช้ทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ1.1
3. นำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์ข้อมูล สถิติที่ใช้

หาค่าร้อยละของค่าดัชนีหักเหของของเหลว ค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

ผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าจากการใช้ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1 หาค่าดัชนีหักของของของเหลว 4 ชนิด คือ น้ำ กลีเซอรีน น้ำเชื่อมความเข้มข้น 50 % และน้ำมันปาล์มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ1.336-1.371, 1.437-1.508, 1.393-1.434 และ 1.393-1.502 ตามลำดับ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเลื่อนน้อยกว่า 5% (ตารางที่ 1)

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าดัชนีหักเหของของเหลว 4 ชนิด

ชนิดของของเหลว	ค่าดัชนีหักเหมาตรฐาน n_{std}	มุมตกกระทบ	ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.0			ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1		
			ดัชนีหักเหจากการทดลอง n_{exp}	SD.	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	ดัชนีหักเหจากการทดลอง n_{exp}	SD.	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
น้ำ	1.333	25°	1.244	0.001	6.7	1.336	0.001	0.2
		30°	1.437	0.001	7.8	1.348	0.001	1.1
		35°	1.286	0.002	3.5	1.371	0.002	2.8
กลีเซอรีน	1.473	25°	1.558	0.001	5.8	1.508	0.002	2.4
		30°	1.346	0.001	8.6	1.448	0.002	1.7
		35°	1.407	0.001	4.4	1.437	0.001	2.4
น้ำเชื่อมความเข้มข้น 50%	1.420	25°	1.328	0.001	6.5	1.393	0.001	1.9
		30°	1.286	0.001	9.4	1.434	0.001	1.0
		35°	1.316	0.001	7.3	1.394	0.001	1.8
น้ำมันปาล์ม	1.455*	25°	1.323	0.002	9.1	1.393	0.002	4.4
		30°	1.517	0.001	4.3	1.495	0.002	2.7
		35°	1.584	0.003	8.7	1.502	0.003	3.2

*ที่มา: FN Ngassapa and OC Othman's study at 250 C

การอภิปรายผล

จากผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ปรับค่ามุมตกกระทบของชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1 จากแผ่นอะครีลิกที่มีความหนา 3 ระดับเป็นอะครีลิกที่เป็นรูปสามเหลี่ยม และนำมาใช้ในการทดลองส่งผลให้ค่าดัชนีหักเหของของเหลวที่ได้จากการทดลองมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยลงจากการใช้ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.0 ทั้งมุม25°, 30° และ 35° ตามลำดับ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0.1%-4.4% ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนนี้เป็นการประเมินชุดทดลองเพื่อแสดงให้เห็นว่าชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1 เป็นชุดทดลองที่สามารถนำไปใช้เป็นสื่อการเรียนรู้ปฏิบัติการได้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับ ศักดิ์ศรี ปาณะกุล (2550, 99-110) ที่ได้กล่าวถึงการประเมินสื่อว่าต้องมีความถูกต้องด้านเนื้อหาของสื่อ เพื่อให้ผู้เรียนบรรลุจุดประสงค์ของการเรียนการสอน สามารถสร้างความเข้าใจให้แก่ผู้เรียนได้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

การใช้ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแบบ 1.1 ในการหาค่าดัชนีหักเหนั้น ผู้ใช้งานจะต้องมีความละเอียดในการระบุตำแหน่งที่แสงตกกระทบบนสเกลของไม้บรรทัดเพราะจะส่งผลถึงการวัดระยะของการกระทบและการหักเห และการแทนค่าเพื่อคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของของเหลว

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการพัฒนาการติดตั้งอุปกรณ์ในส่วนการวัดระยะของตำแหน่งที่แสงตกกระทบและระยะที่แสงหักเหให้ชัดเจนและแสดงผลได้ง่ายขึ้น และควรปรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับมุมตกกระทบให้ใช้ง่ายและสะดวกเช่น ใช้ฐานสามเหลี่ยมชิ้นเดียวแต่ติดบานพับที่ปลายด้านมุมแหลมเพื่อปรับมุมตกกระทบ

บรรณานุกรม

กาญจนา จันทร์ประเสริฐ. (2558). *Proceedings of International Conference on Science and Technology* (หน้า 468-472). ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล.

นพพร เสนีย์คุปต์. (2547). *การพัฒนาชุดทดลองเรื่องโมเมนตัมและการชนใน 1 มิติสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย*. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา) บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ผิวผ่อง ทมานนท์, และนิรันดร์ วิทิตอนันต์. (2556). การวัดดัชนีหักเหของของเหลวด้วยเทคนิคการหักเหแสง. ใน *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่น* (หน้า 291-295). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พันศักดิ์ สายแสงจันทร์. (2544). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่องเทคนิคการแยกสารสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1*. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา) บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ลือเดช ปิตุพงศ์. (2553). การพัฒนาชุดการสอนปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานระดับปริญญาตรี. *วารสารวิชาการบัณฑิตวิทยาลัยสวนดุสิต*, 6(3), 12 – 21.

ศักดิ์ศรี ปาณะกุล.(2550). *วิธีการสอนวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2543). *มาตรฐานการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้กลุ่มวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี*. กรุงเทพฯ: สถาบันฯ.

สุรพล วิหคไพบูลย์. (2543). *การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่องการบำบัดน้ำเสียเสียสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1*. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

Ngassapa, F.N., & Othman, O.C. (2001). Physicochemical characteristics of some locally manufactured edible vegetable oils marketed in DAR ES SALAAM. *Tanz.J.Sci*., 27.

Sharma, R.C. (1982). *Modern Science Teaching* (3rd ed.). Delhi : D.R. printing.

Sumrall, J. W.(1997). Why Avoid Hands-On-Science?. *Science Scope*, 20(4), 16-19.