

นิพนธ์ต้นฉบับ
(Original article)

การออกแบบและปรับปรุงอุปกรณ์ช่วยหายใจสำหรับการอพยพอัคคีภัยด้วย กระบวนการทดสอบความสามารถในการใช้งาน Design and improvement of respiratory protective device for fire evacuation by using usability testing

สกล ธีระวรณัฐ* และ พงษ์ศักดิ์ กิติโรจน์พันธ์

Sakol Teeravarunyou* and Pongsak Kitirojpan

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

School of Architecture and Design, King Mongkit's University Technology Thonburi (sakol.tee@mail.kmutt.ac.th)

*ผู้นิพนธ์หลัก

บทคัดย่อ: การวิเคราะห์ด้านปัจจัยมนุษย์แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างไม่สามารถสวมใส่อุปกรณ์ช่วยหายใจสำหรับอพยพอัคคีภัยด้วยเวลาที่จำกัด ในการศึกษาครั้งนี้อุปกรณ์รุ่นที่ 1 และ 2 ที่ออกแบบโดยบริษัทวิสาหกิจขนาดย่อม ได้นำมาเปรียบเทียบเพื่อที่จะประเมินสมรรถนะของการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ คนทำงานในสำนักงานจำนวน 60 คนเข้ามาทดสอบในห้องจำลองที่เต็มไปด้วยควัน หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์พฤติกรรมและใช้แบบสอบถาม ผลปรากฏว่าผู้ทดลองจากผลิตภัณฑ์รุ่นที่ 2 สามารถสวมใส่ได้รวดเร็วในหลายๆ งาน ครึ่งหนึ่งของงานในผลิตภัณฑ์รุ่นที่ 1 จะมีค่าความผิดพลาดสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ มากไปกว่านั้นผู้ทดสอบให้คะแนนผลิตภัณฑ์รุ่นที่ 2 ว่าใช้งานง่ายกว่ารุ่นแรก 15% ดังนั้นมีความเป็นไปได้ในการที่จะออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย มีวิธีการใช้ที่ชัดเจนในการสวมใส่ภายในเวลา 30 วินาที

ABSTRACT: Study on human factor analysis showed that samples failed to don the existing Respiratory Protective Device (RPDs) within the time limit. In this paper, two similar Small enterprise-RPDs, Version 1 and Version 2, were compared statistically to validate the usability of design features in terms of performance. Sixty participants from an office worker population were selected as samples. Experimental design aspects included building of a fire simulation walkway, analyzing user behavior, and answering post questionnaire. The result showed that Version 2 RPD had a quicker donning time for many tasks. Half of the tasks undertaken by subjects donning Version 1 indicated a significantly higher error mean. Moreover, subjects who tested Version 2 rated its ease of use at 15 % higher than the rating of the group evaluating Version 1. Therefore, it is possible to design RPD containing simple and clear instructions, and donning time in under 30 seconds.

คำสำคัญ: อุปกรณ์ช่วยหายใจ เวลาสวมใส่ ความผิดพลาด อพยพหนีไฟ การใช้งาน

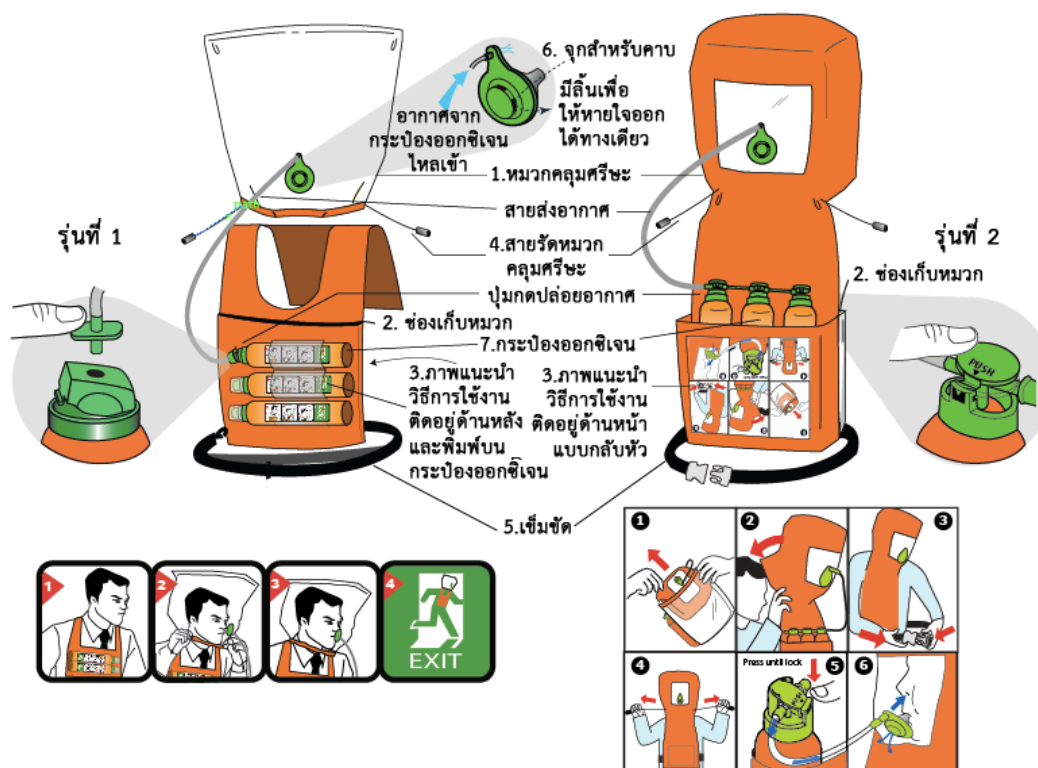
Keywords: Respiratory protective device, Donning time, Error, Fire evacuation, Usability

1. บทนำ

จำนวนผู้เสียชีวิตจากการประสบเหตุเพลิงไหม้มากกว่าร้อยละ 80 มาจากการสูดควันที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งมากกว่าการเสียชีวิตจากการถูกเพลิงไหม้ตามผิวหนัง [1] ควันที่เกิดจากการเผาไหม้ประกอบไปด้วย ไอ น้ำ ก๊าซ เขม่า ฝุ่นละอองขนาดเล็ก และสารต่างๆ ที่สลายตัวเมื่อได้รับความร้อน อุปกรณ์ป้องกันระบบหายใจสำหรับหนีไฟเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยป้องกันไม่ให้ผู้สวมใส่สูดดมควันพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ [2] The American National Standards Institute [3] และ the European Committee for Standardization [4, 5] ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ป้องกันทางระบบหายใจ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์บรรจุก๊าซสำหรับการหายใจ หมวกคลุมศีรษะ และมาตรฐานสำหรับการทดสอบคุณสมบัติด้านการออกแบบ การทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบการใช้งานจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด

ในปี 2005 the U.S. Consumer Product Safety Commission ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยมนุษย์ (Human Factors) ที่ช่วยในด้านประสิทธิภาพการใช้งานอุปกรณ์ป้องกันระบบหายใจจากการบาดเจ็บและเสียชีวิต [2] โดยผู้ร่วมทดสอบจะมีเวลาในการอ่านวิธีการใช้งานอุปกรณ์จากผู้ผลิต และทำการสวมใส่อุปกรณ์ภายในระยะเวลา 30 วินาที จากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ 5 ตัวอย่าง ไม่มีอุปกรณ์ใดที่ผ่านการทดสอบนี้ โดยมีเพียงผู้ร่วมทดสอบ 1 คน จากจำนวน 8 คน ที่สามารถใช้งานผลิตภัณฑ์ได้ภายในเวลา 29.9 วินาที ผู้เข้าร่วมทดสอบส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการสวมใส่อุปกรณ์ระหว่าง 41-117 วินาที โดยที่ผู้ร่วมทดสอบ 37.5% ระบุว่าประสบความสำเร็จในการใช้งาน แต่กลับพบว่าปฏิบัติไม่ตรงตามวิธีการใช้งานที่ระบุไว้ ผลจากการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีการปรับปรุงอุปกรณ์ให้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วเพียงพอในการสวมใส่ Colton แนะนำให้มีการฝึกซ้อมการใช้งานอุปกรณ์ ซึ่งเป็นเรื่องยากสำหรับผู้ใช้งานโดยทั่วไป [6] ทั้งนี้ข้อบังคับให้ต้องมีการฝึกซ้อมการใช้งานและมีข้อมูลที่แสดงวิธีการใช้งานจึงมีความจำเป็นที่ทำให้ผู้ใช้เข้าใจวิธีการใช้งานได้ง่าย แต่ในสภาพความเป็นจริงเราไม่สามารถฝึกซ้อมอุปกรณ์ช่วยในการหนีไฟได้ในสถานที่ที่มีคนจรมาก เช่น โรงแรม โรงพยาบาล มีความเป็นไปได้ยากที่จะฝึกรวมทุกคนให้ใช้งานอุปกรณ์

ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการสวมใส่อุปกรณ์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะด้านการออกแบบแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงสภาพการณ์แวดล้อม เช่น เสียงจากสัญญาณเตือนภัยและควัน ก่อให้เกิดความตื่นตระหนกและความผิดพลาด ปัจจัยเหล่านี้รวมเรียกว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งาน (Performance Shaping Factors – PSF) [7] อันเป็นผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานจากตัวบุคคลและสภาพการณ์แวดล้อม ซึ่งได้มีการศึกษาในกรณีของการปฏิบัติงานในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์



รูปที่ 1: ความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ของอุปกรณ์รุ่นที่ 1 และ 2 ส่วนประกอบที่เหมือนกันได้แก่ จุกคาบ สายรัดหมวกคลุมศีรษะ ในขณะที่ส่วนที่ต่างกันคือ หมวกคลุมศีรษะ วาล์วปลดปล่อยอากาศ คู่มือ กระเป๋า และเข็มขัด

ตารางที่ 1: การเปรียบเทียบส่วนประกอบของการออกแบบระหว่างรุ่นที่ 1 และ 2

ส่วนประกอบ	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2
1. หมวกคลุมศีรษะ	ทำจากพลาสติกใส มีลักษณะคล้ายถุง	ทำจากพลาสติกสีส้มป้องกันการลามไฟทึบแสงสี และมีช่องสำหรับมองที่ทำจากพลาสติกใส มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม
2. ช่องเก็บหมวก	ลักษณะเป็นช่องในตัวบรรจุภัณฑ์	ลักษณะเป็นช่องใส
3. ภาพแนะนำวิธีการใช้งาน	ติดอยู่ด้านหลังของชุดผลิตภัณฑ์ ภาพประกอบของแต่ละขั้นตอนมีขนาด 3.2 ซม. x 4 ซม. ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน - 1) การสวมหมวกคลุมศีรษะ, 2) การต่อท่ออากาศ, 3) การกดวาล์วกระป๋องอากาศ และ 4) การวิ่งเพื่อหนีไฟ (ขนาดภาพโดยรวม 7 ซม. x 14 ซม.)	ติดอยู่ด้านหน้าของชุดผลิตภัณฑ์ วางภาพในลักษณะกลับหัว ภาพประกอบของแต่ละขั้นตอนมีขนาด 4.5 ซม. x 6 ซม. ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน - 1) การดึงหมวกคลุมศีรษะออกจากช่องเก็บ, 2) การสวมหมวกคลุมศีรษะ, 3) ล้อกลายรัดผลิตภัณฑ์เข้ากับร่างกาย, 4) ดึงสายรัดหมวกคลุมศีรษะให้, 5) การกดวาล์วกระป๋องอากาศ และ 6) วิธีการหายใจเมื่อสวมใส่ผลิตภัณฑ์ (ขนาดภาพโดยรวม 11 ซม. x 14 ซม.)
4. สายรัดหมวกคลุมศีรษะ	สายไนลอนร้อยโดยรอบขอบหมวกคลุมศีรษะ มีปลายสำหรับดึงอยู่ทางด้านข้างทั้ง 2 ด้าน	
5. เข็มขัด	เป็นสายที่สามารถปรับความยาว โดยการเลื่อนตัวปรับสายด้วยตัวเอง	เป็นสายยางยึด ที่ไม่ต้องมีการปรับความยาวเมื่อทำการรัดเข้ากับลำตัว
6. จุกสำหรับคาบ	การหายใจเข้าผ่านทางจุกตามปกติ ส่วนการหายใจออกทางปากผ่านอุปกรณ์ที่มีลิ้นเพื่อป้องกันไม่ให้ควันพิษผ่านเข้ามาในหมวก	
7. กระป๋องออกซิเจน	ลักษณะคล้ายกระป๋องสเปรย์ ที่มีการหุ้มด้วยพลาสติก และต้องทำการต่อสายส่งอากาศด้วยตนเอง ไม่มีท่ออากาศต่อเชื่อมระหว่างกระป๋อง	เป็นกระป๋องที่มีปุ่มกดปล่อยอากาศอยู่ด้านบน พร้อมลูกศรและข้อความระบุตำแหน่งที่ทำการกด มีการต่อเชื่อมสายส่งอากาศและท่ออากาศระหว่างกระป๋องไว้แล้ว

มาตรฐานอุตสาหกรรมในปัจจุบันจะเน้นไปที่ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ที่ช่วยในการหายใจ แต่ไม่ได้แก้ปัญหาด้านระยะเวลาที่ใช้และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเช่นกัน Funkhouser และ Fairlie [8] ได้ทำการประเมินการใช้งานเสื้อชูชีพสำหรับเด็ก 4 ชนิด พบว่าเกิดความสับสนในการใช้สายรัดและที่ล๊อคสาย ทำให้เกิดความล่าช้าในการใช้งาน การทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์มีส่วนช่วยให้เข้าใจ ประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพ และ ความพึงพอใจของผู้ใช้งานแต่ละคนตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ [9] ประสิทธิภาพในการใช้งานจะเกี่ยวข้องกับ ปฏิสัมพันธ์ของผู้ใช้งานในแง่ของเวลาที่ใช้ และความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ผลที่ได้จากการประเมินการใช้งานเสื้อชูชีพสำหรับเด็กพบว่าต้องมีการใช้งานได้อย่างถูกต้องและทันเวลา การออกแบบควรเรียบง่ายและใช้งานง่ายมากกว่า ฝึกอบรมทักษะความสามารถของผู้ใช้งาน [10]

ในการศึกษานี้จะใช้ผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ช่วยหายใจของบริษัทวิสาหกิจขนาดย่อม 2 รุ่น ผลิตภัณฑ์ของบริษัทนี้มี ข้อดีกว่าผลิตภัณฑ์อื่นในท้องตลาดตรงที่กระป๋องออกซิเจนมีน้ำหนักเบา (ประมาณ 60 กรัมต่อกระป๋อง) และมีราคาที่เหมาะสม อุปกรณ์นี้มีระยะเวลาในการหายใจขึ้นอยู่กับจำนวนกระป๋องอากาศ (1 นาทีต่อกระป๋อง) แต่ในกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ผู้ใช้งานควรออกจากที่เกิดเหตุภายในเวลา 5 นาที ดังนั้นผู้ใช้งานจึงมีเวลาในการอ่านคำแนะนำการใช้งาน (30 วินาที) และสวมใส่อุปกรณ์ (30 วินาที) รวมทั้งสิ้น 1 นาที คุณสมบัติในการออกแบบจึงมีส่วนสำคัญที่ช่วยลดระยะเวลาการใช้งาน อีกทั้งในคู่มือจะต้องทำให้เกิดความเข้าใจและการใช้งานในขั้นตอนต่างๆ อย่างถูกต้อง

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อค้นหาผลที่เกิดจากคุณลักษณะด้านการออกแบบที่มีผลต่อการใช้งาน เช่น 1) ระยะเวลาการใช้งาน 2) ความผิดพลาดในการใช้งาน และ 3) ความยาก-ง่ายในการใช้งานระหว่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รุ่น ในการทดลองนี้จะมีคุณลักษณะการออกแบบที่มีคุณสมบัติร่วมกันของรุ่นที่ 1 และ 2 คือ ส่วนของสายรัดหมวกครอบศีรษะ และจุกอากาศ ส่วนที่มีความแตกต่างกัน ได้แก่ 1) หมวกคลุมศีรษะในรุ่นที่ 1 เป็นถุงพลาสติกใส สำหรับรุ่นที่ 2 ทำจากวัสดุไม่ลามไฟทึบแสง, 2) ปุ่มกดกระป๋องออกซิเจนและการเชื่อมต่อของกระป๋องในรุ่นที่ 2 ในขณะที่รุ่นที่ 1 ผู้ใช้ต้องประกอบเอง 3) คำแนะนำการใช้งานในรุ่นที่ 2 ได้เพิ่มรายละเอียดในขั้นตอนที่มีความสำคัญ เช่นวิธีการกดปุ่มกระป๋องออกซิเจน และวิธีการหายใจเข้า-ออก 4) ช่องสำหรับใส่หมวกซึ่งในรุ่น 2 ได้มีการออกแบบให้เป็นพลาสติกใส เพื่อให้สามารถเห็นหมวกคลุมศีรษะได้โดยง่าย และ 5) สายรัดลำตัวของรุ่นที่ 2 ที่เป็นสายยางยืดเพื่อลดเวลาในการปรับสายให้เข้ากับขนาดร่างกาย ดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1

2. วิธีการศึกษา

ในการศึกษานี้ใช้วิธีการให้ผู้เข้าร่วมทดสอบได้ทดลองใช้ผลิตภัณฑ์จริง (Performance testing method) ที่เป็นวิธีการสำหรับทดสอบผลิตภัณฑ์ที่แพร่หลาย [11, 12] วิธีการประเมินนี้จะทดสอบในสภาพการใช้งานจริงเพื่อหาปัญหาที่เกิดจากการใช้งาน [13] ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รุ่น ได้ทำการทดสอบด้วยวิธีการดังกล่าว

ตารางที่ 2: งานที่ใช้ในการทดสอบและคำอธิบาย

งาน	คำอธิบาย
1. ค้นหาอุปกรณ์	ผู้ร่วมทดสอบเข้ามาให้บริเวณทดสอบ และหาตำแหน่งผลิตภัณฑ์ที่แขวนบนผนัง
2. อ่านคู่มือ	อ่านและทำความเข้าใจกับภาพแสดงการใช้งานในแต่ละขั้นตอน
3. ดึงหมวกคลุมศีรษะ	ดึงหมวกคลุมศีรษะที่พับอยู่ออกจากผลิตภัณฑ์
4. สวมหมวก	นำหมวกคลุมศีรษะมาสวมครอบศีรษะโดยให้จุกอากาศอยู่ทางด้านหน้า
5. รัดเข็มขัด	ปลดล็อกสายรัด และนำมัลล้องรอบลำตัว ปรับสายรัดให้กระชับ (สำหรับรุ่น 1) และล็อกสายรัดเข้ากับลำตัว
6. กระชับสายคลุมศีรษะ	ดึงปลายสายด้วยมือทั้งสองข้างมาทางด้านหน้า ให้ด้านล่างของหมวกคลุมศีรษะกระชับกับลำคอ
7. คาบจุกหายใจ	ใช้ปากคาบจุกอากาศเพื่อหายใจออก
8. กดและล็อกควาล์ว	กดปุ่มบนกระป๋องอากาศจนอยู่ในตำแหน่งล็อก และมีอากาศออกมาจากกระป๋องอย่างต่อเนื่อง
9. สูดหายใจเข้าออก	หายใจเข้าทางจุก และหายใจออกทางปากผ่านจุกอากาศ
10. ใช้กระป๋องออกซิเจน ถัดไป	เปลี่ยนกระป๋องอากาศ เมื่ออากาศในกระป๋องเดิมหมด สำหรับรุ่นที่ 1 จะต้องทำการต่อท่อนำอากาศเข้ากับกระป๋องอากาศถัดไป และปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 8

2.1 วิธีการดำเนินการ

ผู้เข้าร่วมทดสอบจำนวน 60 คน ถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มละ 30 คน แต่ละกลุ่มถูกกำหนดให้ทดสอบผลิตภัณฑ์เพียง 1 รุ่น เนื่องจากขั้นตอนการใช้งานบางอย่างมีความคล้ายคลึงกันทั้ง 2 รุ่น จึงไม่สามารถให้ผู้เข้าทดลองทำการทดสอบผลิตภัณฑ์ทั้งสองรุ่นด้วยแค่กลุ่มเดียวเพราะมีการถ่ายทอดการเรียนรู้จากการใช้อุปกรณ์รุ่นหนึ่งสู่รุ่นอื่น ผู้เข้าทดสอบได้ถูกคัดเลือกตามเป้าหมายของผู้ใช้งานผลิตภัณฑ์คือ ค่าเฉลี่ยอายุของเพศชายและหญิงที่ทำงานในสำนักงานที่มีอายุ 31.26 ($SD=5.34$) และ 29.83 ($SD=5.22$) ปีตามลำดับ มีการแบ่งจำนวนชายและหญิงให้เท่ากันในแต่ละกลุ่ม ทั้งสองกลุ่มไม่มีประสบการณ์ในการใช้อุปกรณ์นี้ไฟเหมือนกันและไม่เป็นโรคหัวใจ ปอด ความดันโลหิตสูงหรือตื่นตระหนก ถ้ามีอาการโรคดังกล่าวก็จะถูกคัดออกก่อนการทดสอบ ทุกคนจะมีการตรวจเช็คสายตาเมื่อมองทะลุ

ผ่านหมวดคลุมศีรษะเพื่อให้แน่ใจว่ามีทัศนวิสัยในการมองเห็นดี ผู้เข้าร่วมการทดสอบทั้งหมดจะต้องเข้ารับฟังรายละเอียดของการทดสอบประมาณ 10 นาที โดยเมื่อเริ่มการทดสอบผู้เข้าร่วมจะต้องทำการสวมใส่อุปกรณ์ก่อนที่จะเดินเข้าสู่ทางเดินหนีไฟจำลอง และในช่วงท้ายของทางเดินหนีไฟผู้เข้าร่วมทดสอบจะต้องทำการเปลี่ยนกระป๋องออกซิเจน รายละเอียดของขั้นตอนทั้ง 10 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งขั้นตอนการใช้งานได้ถูกกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญด้านปัจจัยมนุษย์ และนักผจญเพลิง ลำดับขั้นตอนจะสอดคล้องกับการใช้งานอุปกรณ์หายใจที่มีอากาศสำรองสำหรับนักผจญเพลิง [14]



รูปที่ 2: การจำลองทางเดินหนีไฟที่บรรจุควัน (ภาพซ้าย) และตัวอย่างภาพที่บันทึกจากกล้องวงจรปิด (ภาพขวา) ขณะสวมผลิตภัณฑ์รุ่นที่ 1 สองแถวบน และรุ่นที่ 2 สองแถวล่าง

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

พื้นที่ทดสอบได้ถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นทางเดินหนีไฟดังแสดงในรูปที่ 2 มีระยะทางประมาณ 28 เมตร เป็นระยะทางที่สามารถเดินด้วยความเร็วปกติและเพียงพอให้ผู้เข้าร่วมทดสอบทำการเปลี่ยนกระป๋องอากาศบริเวณช่วงท้ายของทางเดิน มีการติดตั้งป้ายบอกทางหนีไฟ และกล้องวงจรปิดเพื่อบันทึกพฤติกรรมของผู้เข้าร่วมทดสอบตามตำแหน่งที่แสดงในจุดที่ 2 (ภาพด้านซ้าย) เพื่อสร้างบรรยากาศในการทดสอบให้มีความสมจริงจึงออกแบบให้ทางเดินหนีไฟมีแสงสว่างน้อย และปกคลุมด้วยควันจำลองตลอดเส้นทาง รวมถึงมีการเปิดสัญญาณเตือนภัยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบ ภาพจากกล้องวงจรปิดที่ถูกบันทึกไว้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Observer (R) XT [15] พฤติกรรมของผู้เข้าทดสอบแต่ละคนจะถูกประมวลผลสำหรับระยะเวลาที่ใช้และความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

2.3 การวิเคราะห์ผล

ตัวแปรตามที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มี 3 ตัวแปร คือ 1) ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้, 2) ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น และ 3) ความยาก-ง่ายในการใช้งาน ระยะเวลาที่ใช้ คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติตามขั้นตอนการใช้งานในแต่ละขั้นตอน ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ ใช้การทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent Sample T-test) ในการหาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ การวิเคราะห์ความผิดพลาดจะทำการแบ่งแยกระหว่างผิดพลาดและไม่ผิดพลาดด้วยการทดสอบแบบ Pearson's chi-square test หลังจากการทดลองเสร็จสิ้นผู้เข้าร่วมทดสอบจะต้องประเมินความยากง่ายของอุปกรณ์ทั้งสองชุดด้วยแบบสอบถามที่มีขนาดมาตราส่วน 100 (0 หมายถึง ยากมาก ขณะที่ 100 หมายถึง ง่ายมาก)

3. ผลการศึกษา

การรายงานผลจะแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ เวลาในการใช้อุปกรณ์สำหรับอพยพ ความผิดพลาด และความยากง่ายในการใช้งาน ในส่วนของเวลาจะเน้นอยู่สองส่วน คือ เวลาในการอ่านคู่มือซึ่งมีเวลาสูงสุดอยู่ที่ 30 วินาที และเวลารวมในการสวมใส่ซึ่งเวลาสูงสุดอยู่ที่ 30 วินาที เช่นกัน

3.1 เวลาในการทำงาน

ตารางที่ 3: เปรียบเทียบเวลาในแต่ละงานมีความสัมพันธ์กับการออกแบบส่วนต่างๆ ของรุ่นที่ 1 และ 2

งาน	ค่าเฉลี่ยเวลาอพยพ (ค่าเบี่ยงเบน) วินาที		ค่านัยสำคัญ (2-tailed)
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	
1. ค้นหาอุปกรณ์	10.01 (6.34)	7.20 (3.95)	0.05
2. อ่านคู่มือ	73.92 (44.67)	48.16 (28.66)	0.01*
3. ดึงหมวกคลุมศีรษะ	14.53 (8.35)	11.17 (8.37)	<0.01**
4. สวมหมวก	21.33 (17.95)	5.20 (2.46)	<0.01**
5. รัดเข็มขัด	32.95 (36.95)	10.15 (3.85)	0.03*
6. กระชับสายคลุมศีรษะ	11.56 (15.36)	6.84 (5.18)	0.19
7. คาบจุกหายใจ	n/a	n/a	n/a
8. กดและลือควาล์ว	15.77 (17.39)	7.05 (5.33)	0.03*
9. สูดหายใจเข้าออก	n/a	n/a	n/a
10. ใช้กระป๋องออกซิเจน ถัดไป	22.25 (17)	8.08 (9.84)	<0.01**
เวลารวมในการสวมใส่	96.14 (9.82)	36.38 (2.43)	<0.01*

หมายเหตุ n/a สำหรับงานที่ 7 และ 9 เนื่องจากไม่สามารถวัดจากการสังเกต ส่วนเวลารวมในการสวมใส่ เป็นเวลาของงานที่ 3, 4, 5, 6 และ 8

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาอพยพหนีไฟของรุ่นที่ 1 และ 2 ในส่วนนี้จะใช้การทดสอบทางสถิติ t-test แบบ Anderson-Darling [16] ในการตรวจสอบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ จากการทดสอบพบว่าข้อมูลไม่ได้กระจายตัวแบบปกติเนื่องจากผู้เข้าร่วมทดสอบบางท่านใช้เวลามากกว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่ม ดังนั้นจึงต้องแปลงข้อมูลโดยใช้หลักของ Box-Cox Power [17] สำหรับทุกงาน ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยเวลาในการสวมใส่ของรุ่นที่ 1 ($M = 96.14$, $SD = 9.82$) ใช้เวลามากกว่ารุ่นที่ 2 ($M = 36.38$, $SD = 2.43$) ซึ่งรุ่นที่ 2 มีค่าเกินเวลามาตรฐานการสวมใส่อุปกรณ์ 30 วินาทีไม่มากนัก มีจำนวน 3 ใน 8 งานที่มีค่าความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยทั้งสองรุ่นอย่างมีนัยสำคัญที่ 99% เช่น งานดึงหมวกคลุมศีรษะ สวมหมวก และใช้ถังออกซิเจนถัดไป และอีก 3 งานมีความแตกต่างที่ 95% เช่น อ่านคู่มือ รัดเข็มขัด กดและลือควาล์ว

เวลาในการอ่านคู่มือใช้เวลารุ่นที่ 1 ($M = 73.92$, $SD = 44.67$) มากกว่ารุ่นที่ 2 ($M = 48.16$, $SD = 28.66$); $p < .05$ จากการสังเกตพบว่าผู้เข้าทดสอบอ่านคู่มือหลายรอบในรุ่นที่ 1 ถึงแม้ว่ารุ่นที่ 2 จะมีปริมาณข้อมูลมากกว่ารุ่นที่ 1 ก็ไม่ปรากฏว่าใช้เวลามากกว่า ปัญหาที่พบมากในกลุ่มผู้ถูกทดสอบ คือ รุ่นที่ 1 ออกแบบให้คู่มือซ่อนอยู่ด้านหลังทำให้ผู้ทดสอบต้องพลิกออกมาอ่าน ในขณะที่รุ่นที่ 2 ออกแบบให้สามารถอ่านในทิศทางตรงกันข้ามไม่กลับหัว พฤติกรรมหนึ่งที่พบในรุ่นที่ 1 คือ ผู้ทดสอบถอดหมวกเข้าออกหลายรอบเพื่อที่จะอ่านคู่มือ ดังนั้นการออกแบบตำแหน่งการติดตั้งคู่มือจะทำให้ลดเวลาในการอ่านคู่มือซ้ำขณะสวมใส่

ในงานของการดึงหมวกออกจากตัวกระเป่าพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของรุ่นที่ 1 ($M = 14.53, SD = 8.35$) และรุ่นที่ 2 ($M = 11.17, SD = 8.37$); $p < .01$ ในรุ่นที่ 2 ผู้ถูกทดสอบสามารถค้นหาหมวกคลุมศีรษะได้เร็วกว่าเพราะตัวหมวกสามารถมองเห็นได้ง่ายด้วยกระเป่าที่เป็นพลาสติกใส ส่วนรุ่นที่ 1 ผู้ทดสอบใช้เวลาในการหาหมวกคลุมศีรษะยากมากเพราะซ่อนอยู่ด้านในกระเป่า ส่วนงานสวมหมวกค่าเฉลี่ยของเวลาของรุ่นที่ 1 ($M = 21.33, SD = 17.95$) ใช้เวลามากกว่ารุ่นที่ 2 ($M = 5.2, SD = 2.46$); $p < .01$ จากการทดสอบพบว่าหมวกลักษณะถุงพลาสติกใสทำให้ผู้ถูกทดสอบสับสนว่าด้านใดเป็นด้านหน้าและหลัง ในขณะที่รุ่นที่ 2 เป็นวัสดุทึบทำให้สังเกตได้ง่ายว่าเป็นด้านใด

ในงานรัดเข็มขัด รุ่นที่ 2 ($M = 10.15, SD = 3.85$) ใช้เวลาเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญน้อยกว่ารุ่นที่ 1 ($M = 32.95, SD = 36.95$); $p < 0.05$ ความแตกต่างนี้เกิดจากการออกแบบของเข็มขัดในรุ่นที่ 1 ที่มีหัวเข็มขัดเล็กและต้องปรับเอง ในขณะที่รุ่นที่ 2 เป็นยางยืดหยุ่นและมีหัวเข็มขัดที่ใหญ่ ผู้ถูกทดสอบบางท่านไม่สามารถซึ่ซัดได้ว่ารุ่นที่ 1 เป็นเข็มขัดและใช้เวลาในการปรับค่อนข้างนาน

ส่วนของการการกดและถือควาล์วผู้ถูกทดสอบต้องกดปุ่มให้ถึงเดือยเพื่อที่จะถือการกดออกซิเจนของรุ่นที่ 1 และ 2 ค่าเฉลี่ยเวลาของรุ่นที่ 2 ($M = 7.05, SD = 5.33$) ใช้เวลาน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับรุ่นที่ 1 ($M = 15.77, SD = 17.39$); $p < 0.05$ เนื่องจากรุ่นที่ 1 ต้องมีการใส่สายยางเข้ากับตัวกระป๋องออกซิเจนจึงทำให้เสียเวลานานมาก เพราะขนาดของรูที่เสียบมีขนาดเล็กและผู้ถูกทดสอบส่วนใหญ่ไม่เข้าใจส่วนที่เป็นหัวเสียบสายอากาศออกซิเจน (ดูรูปที่ 1) ในขณะที่รุ่นที่ 2 มีแป้นสำหรับและมีการต่อเชื่อมระหว่างสายยางกับถังออกซิเจนเป็นที่เรียบร้อย

ค่าเฉลี่ยของเวลาการใช้กระป๋องออกซิเจนถัดไปของรุ่นที่ 2 ($M = 8.08, SD = 9.84$) จะน้อยกว่ารุ่นแรก ($M = 22.25, SD = 17$); $p < 0.01$ เพราะผู้เข้าทดลองใช้เวลาในการดึงสายยางนำอากาศออกและเสียบเข้ากับถังออกซิเจนใหม่ ในทางตรงกันข้ามรุ่นที่ 2 มีการเชื่อมต่อแต่ละถังออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

3.2 ความผิดพลาด

ตารางที่ 4 แสดงการทดสอบแบบ Chi-square ของทั้งสองรุ่น จำนวน 5 ใน 10 งานมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 99% ได้แก่ งานรัดเข็มขัด คาบจุกหายใจ กดและถือควาล์ว สูดหายใจเข้าออก และ 95% ได้แก่ การใช้กระป๋องออกซิเจนถัดไป ในเรื่องของงานรัดเข็มขัดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความผิดพลาดของรุ่นที่ 1 และ รุ่นที่ 2 โดย $\chi^2(1) = 19.817, p < 0.01$ ผู้เข้าทดสอบจำนวน 13 คน ข้ามงานนี้ในรุ่นที่ 1 ไป เพราะในคู่มือไม่ได้แจ้งขั้นตอนนี้ ตามอัตราส่วนของค่า odds ratio เป็น 15.16 เท่าของรุ่นที่ 2 ปัญหาของการไม่ได้ทำงานนี้ใกล้เคียงกับงานคาบจุกหายใจ $\chi^2(1) = 5.192, p < 0.01$ ผู้เข้าทดสอบหลายท่านข้ามขั้นตอนนี้ ค่าความผิดพลาดของรุ่นที่ 1 เป็น 8.82 เท่าของรุ่นที่ 2 ดังนั้นการออกแบบคู่มือในรุ่นที่ 2 มีส่วนทำให้ผู้เข้าทดสอบเข้าใจงานที่เป็นวิกฤติได้ดี เช่น งานรัดเข็มขัด และงานคาบจุกหายใจจำนวนความผิดพลาดจึงลดลงอย่างมาก สำหรับงานกดและถือควาล์วมีค่าความสำคัญระหว่างรุ่นที่ 1 และ 2 อยู่ที่ $\chi^2(1) = 10.417, p < 0.01$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้เข้าทดลองละเลยงานหรือใช้เวลามากในการทำให้งานนี้ งานใช้ถังออกซิเจนถัดไปก็มีค่า $\chi^2(1) = 22.5, p < 0.05$ ผู้เข้าทดสอบจำนวนมากไม่ได้กดควาล์วถังออกซิเจนหรือไม่ได้กดแรงเพียงพอที่จะถือควาล์ว ปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากที่วาล์วมีความแข็งมากเกินไป ค่าเฉลี่ยของแรงกดบนกระป๋องออกซิเจน 50 อัน คือ 178.37 นิวตัน ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานค่าเฉลี่ยของแรงกดของผู้หญิงขนาดเล็ก [18] ที่มีค่า 32.4 นิวตัน สำหรับงานสูดหายใจเข้าออกพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ $\chi^2(1) = 22.5, p < 0.01$ ผู้เข้าร่วมทดสอบไม่ทราบวิธีการหายใจเข้าและออกเมื่อใช้อุปกรณ์รุ่นที่ 1 ค่า odds ratio ของรุ่นที่ 1 เป็น 21 เท่าสูงกว่ารุ่นที่ 2 คู่มือของรุ่นที่ 2 แตกต่างจากรุ่นที่ 1 เพราะมีการใช้สัญลักษณ์ลูกศรช่วยทำให้ผู้ถูกทดลองเข้าใจวิธีการหายใจโดยใช้อุปกรณ์นี้ ดูรูปที่ 1

ตารางที่ 4: ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดระหว่างรุ่นที่ 1 และ 2

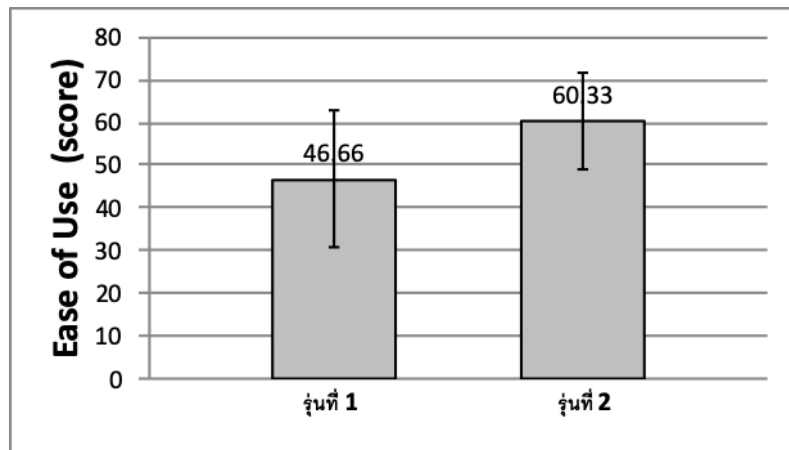
งาน	จำนวนความผิดพลาด		นัยสำคัญเชิงเส้นกำกับ (Asymp Sig.)	อัตราส่วนความได้เปรียบ (Odds ratio)
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2		
1. ค้นหาอุปกรณ์	2	2	1.00	1
2. อ่านคู่มือ	7	2	0.07	4.26
3. ดึงหมวกคลุมศีรษะ	12	8	0.27	1.83
4. สวมหมวก	8	4	0.19	2.36
5. รัดเข็มขัด	21	4	<0.01**	15.16
6. กระชับสายคลุมศีรษะ	11	12	0.79	0.86
7. คาบจุกหายใจ	11	1	<0.01**	16.78
8. กดและถือควาล์ว	29	23	<0.01**	8.82
9. สูดหายใจเข้าออก	27	9	<0.01**	21
10. ใช้กระป๋องออกซิเจน ถัดไป	17	9	0.03*	3.05

* ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% (p value < 0.05)

** ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 99% (p value < 0.01)

3.3 ความง่ายในการใช้งาน

รูปที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนจากแบบสอบถามของรุ่นที่ 1 และ รุ่นที่ 2 ผู้เข้าร่วมทดสอบจำนวน 60 ท่าน ตอบแบบสอบถามหลังจากทดสอบในเรื่องของความยากง่ายของการใช้อุปกรณ์ โดยการให้ผู้เข้าร่วมการทดสอบให้คะแนนความยาก-ง่ายในการใช้งาน (0 ยากมากที่สุด, 100 ง่ายมากที่สุด) โดยให้ประเมินอุปกรณ์ในภาพรวมหลังจากมีประสบการณ์ในการทดลองใช้อุปกรณ์นั้นมีความยากง่ายในการใช้เพียงใดในทัศนคติของผู้เข้าร่วมทดสอบได้ชี้แจงกับผู้เข้าร่วมทดสอบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช่ง่ายเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดความยากลำบากในการสวมใส่ได้มีกระบวนการคัดเลือกผู้เข้าร่วมทดสอบทั้งสองกลุ่มว่าต้องไม่มีประสบการณ์ในการใช้อุปกรณ์หนีไฟเหมือนกันและไม่เป็นโรคหัวใจ ปอด ความดันโลหิตสูง หรือตื้นตระหนก ถ้ามีอาการโรคดังกล่าวก็จะต้องคัดออกก่อนการทดสอบ ทุกคนจะมีการตรวจเช็คสายตาเมื่อมองทะลุผ่านหมวกคลุมศีรษะเพื่อให้แน่ใจว่ามีทัศนวิสัยในการมองเห็นดี จากการใช้สถิติแบบ Independent t-test ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองรุ่นพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในด้านการใช้งานที่ง่าย $p < 0.01$ ดังรูปที่ 2 ผู้เข้าทดสอบให้ค่าอุปกรณ์รุ่นที่ 2 ที่ค่าเฉลี่ย 60.33 ซึ่งมีค่า 15% สูงกว่ารุ่นที่ 1 ที่มีค่าเฉลี่ย 46.66 ถึงแม้ว่าอุปกรณ์รุ่นที่ 2 จะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าแต่ก็ยังมีความต่ำกว่า 80% ทำให้สามารถปรับปรุงได้อีก



รูปที่ 3: รุ่นที่ 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่มีความง่ายในการใช้งานมากกว่ารุ่นที่ 1

4. อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่าอุปกรณ์รุ่นที่ 2 มีส่วนการออกแบบหลายองค์ประกอบที่ง่ายต่อการใช้งานง่ายกว่ารุ่นที่ 1 ในเรื่องของการประเมินด้านเวลาในการใช้งานอุปกรณ์ เวลาที่มีส่วนสำคัญในการหนี้อคติภัย คือ เวลาในการอ่านคู่มือ เวลาในการสวมใส่อุปกรณ์ และเวลาในการเปลี่ยนกระป๋องออกซิเจนอันถัดไป

เวลาในการอ่านคู่มือของอุปกรณ์รุ่นที่ 2 ($M=48.16$) อยู่ภายใต้การอ่านมาตรฐาน 30 วินาที จากการสังเกตพบว่าคู่มือควรวางในตำแหน่งที่ง่ายต่อการอ่านและสามารถหยิบอ่านได้ง่ายหลายครั้ง ผู้เข้าร่วมทดลองส่วนใหญ่จะอ่านและทำตามทีละขั้นตอน ซึ่งหมายความว่าผู้ทดสอบจะไม่จำเนื้อหาทั้งหมดแล้วถึงใช้งาน นอกจากนี้ตัวคู่มือควรที่จะแสดงถึงงานที่วิกฤตต่างๆ และไม่ใส่ข้อมูลมากเกินไป การออกแบบที่ทำให้เห็นการใช้งานอย่างชัดเจนสามารถป้องกันความผิดพลาดได้ เช่น การหายใจเข้าออก

เวลาในการสวมใส่ของอุปกรณ์ชุดที่ 1 ($M=96.14$) ยังคงมากกว่าค่ามาตรฐานของ 30 วินาที ค่อนข้างมาก ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบ คือ ผู้ใช้กลัวเรื่องการใช้หมวกพลาสติกใสครอบศีรษะเพราะจะทำให้เกิดความรู้สึกร้อนในระหว่างการหายใจและมีความเสี่ยงต่อการตาย ส่วนนี้กระทบต่อความรู้สึกของผู้เข้าทดลอง ซึ่งทัศนคติเช่นนี้เหมือนกับการศึกษาที่ผ่านมา [2] ที่ผู้ใช้ไม่กล้าที่จะเอาหมวกคลุมศีรษะที่มีรูปร่างเป็นถุงพลาสติกใส อีกส่วนก็คือการรัดเข็มขัดของผู้เข้าร่วมที่ทำให้เสียเวลานานมาก ส่วนนี้ก็คล้ายคลึงกับการศึกษาของการออกแบบชุดชีพของทหารที่ตัวรัดเข็มขัดทำให้เกิดความสับสนและใช้เวลาในการสวมใส่ [8] นอกจากนั้นการออกแบบช่องสำหรับการดึงหมวกคลุมศีรษะไม่ควรที่จะซ่อนไว้ลึกมากจนผู้ใช้ไม่สามารถมองเห็นได้ง่าย ดังตัวอย่างรุ่นที่ 2 ที่ออกแบบให้เห็นชัดเจนว่าหมวกคลุมศีรษะอยู่ที่ใดในด้านของเชือกที่ใช้กระชับหมวกคลุมศีรษะของทั้งสองอุปกรณ์ยังคงทำให้เกิดความล่าช้าในการใช้งานเพราะต้องดึงและรัดให้แน่นเพื่อไม่ให้ควั่นเข้าไปใต้คาง ดังนั้นถ้าออกแบบเชือกดึงให้เป็นลักษณะยางยืดในการรัดคางแทนการดึงและผูกเชือกก็จะทำให้ลดเวลาในการสวมใส่

คู่มือการใช้งานต้องเน้นในด้านงานที่เป็นวิกฤตซึ่งถ้าผู้ใช้ไม่ทำก็จะเกิดอันตราย เช่น การสูดอากาศหายใจเข้าออก การใช้ลูกศรช่วยในการมองเห็นช่วยอธิบายทิศทางก็สามารถทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจง่ายและทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง ได้มีการทดลองศึกษาการใช้เครื่องมือติดตามสายตาดูว่ารายละเอียดของกราฟฟิกส์ผลอย่างไรกับเวลาที่ใช้ในการดูคู่มือและการลดรายละเอียดกราฟฟิกส์ที่ไม่สำคัญออกก็จะช่วยลดระยะเวลาในการมองด้วย [19]

ในการทดสอบผู้เข้าทดสอบจะพบว่าข้อมูลที่เก็บมาได้จะไม่ได้กระจายตัวแบบปกติ เนื่องจากความแตกต่างของแต่ละบุคคล เช่น ทักษะการแก้ไขปัญหา ผู้เข้าทดสอบที่มีทักษะการแก้ไขปัญหาสูงสามารถที่จะสวมใส่อุปกรณ์ได้เร็ว

กว่าคนที่มีความรู้ต่ำกว่า ดังนั้นการเลือกบุคคลมาทดสอบควรมีการทดสอบทักษะการแก้ไขปัญหาเพื่อไม่ให้ข้อมูลเกิดความแปรปรวนมาก การศึกษาครั้งนี้ชี้ชัดในว่าการออกแบบอุปกรณ์ที่ดีจะช่วยลดปัญหาด้านเวลาสวมใส่และความผิดพลาด การออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ อย่างระมัดระวัง และควรมีการทดสอบหลายครั้งก่อนที่สรุปแบบว่าควรเลือกแบบใด ในการศึกษาครั้งนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ให้เข้ากับอุปกรณ์ความปลอดภัยอื่นๆ เช่น ชุดชูชีพสำหรับเครื่องบินหรือเรือโดยสาร อุปกรณ์ช่วยหายใจสำหรับคนทำงานในเหมือง การศึกษาความแตกต่างระหว่างบุคคล เช่น ทักษะการแก้ไขปัญหา เพศ ของผู้ใช้กับอุปกรณ์ความปลอดภัยควรต้องมีการศึกษาต่อไปด้วย

5. สรุปผลการศึกษา

ส่วนประกอบอุปกรณ์ที่ยังคงมีลักษณะการออกแบบให้มีคุณสมบัติแบบอย่างเดียวกันก็จะใช้เวลาเหมือนกันทั้ง 2 รุ่น เช่น เชือกกระชับหมวกคลุมศีรษะที่คอ ส่วนที่ออกแบบและลดเวลาในการสวมใส่ ได้แก่ วาล์วกด คุ่มือ เข็มขัด ดังจะเห็นได้ว่าถ้าออกแบบให้มีลักษณะที่ช่วยลดขั้นตอนของการใช้งานลง หรือเป็นแบบอัตโนมัติมากขึ้นก็จะช่วยลดเวลาในการสวมใส่ลง ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องใช้ขั้นตอนมากในการเข้าใจอุปกรณ์

มีความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสวมใส่และปริมาณความผิดพลาดสูงขึ้นตามไปด้วย เช่น งานรัดเข็มขัด การกดและลือควาล์ว การใช้กระป๋องออกซิเจนถัดไป ดังนั้นถ้ามีการออกแบบที่ไม่ทำให้ผู้ใช้สับสนหรือมีความยากลำบากในการใช้งาน เวลาและความผิดพลาดก็จะลดลงตาม

โดยสรุปแล้วการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของอุปกรณ์รุ่นที่ 2 ช่วยลดเวลาในการสวมใส่ อย่างไรก็ตามเวลาในการอ่านและการสวมใส่ยังใช้เวลามากกว่า 1 นาทีทั้งสองรุ่น ซึ่งยังต้องมีการปรับปรุงด้านการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของอุปกรณ์ช่วยหายใจ ในด้านความผิดพลาดก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ งานของอุปกรณ์รุ่นที่ 2 ที่มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่ารุ่นที่ 1 ในด้านของความคิดเห็นของผู้ใช้งานพบว่ารุ่นที่ 2 ใช้งานง่ายกว่ารุ่นที่ 1

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gad S, Anderson R. Combustion toxicology. Boca Raton (Florida): CRC Press; 1990.
- [2] Johnson H, Khanna R. Human factors analysis of consumer personal protective equipment: emergency escape masks [Internet]. Usfa.fema.gov. 2007 [cited 8 February 2019]. Available from: <https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/escape-masks-human-factors.pdf>
- [3] American National Standards Institute (2009). Air-purifying respiratory protective smoke escape devices. ANSI/ISEA 110-2009.
- [4] European Committee for Standardization (1993). Specification for respiratory protective devices: self-contained open-circuit compressed air breathing apparatus. BS EN 137:1993.
- [5] European Committee for Standardization (2005). Specification for respiratory protective devices: self-contained open-circuit compressed air breathing apparatus incorporating a hood for escape. Requirements, Testing, Marking. BS EN 1146:2005.
- [6] Plog B, Quinlan P. Fundamentals of industrial hygiene. Itasca, Ill.: National Safety Council; 2012.
- [7] Mackieh A, Çilingir C. Effects of performance shaping factors on human error. 1998. p. 285-92.
- [8] Funkhouser GE, Fairlie GW. Donning times and characteristics of infant life preservers: four representative types [Internet]. Faa.gov. 1991 [cited 8 February 2019]. Available

from:https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/1990s/media/AM91-06.pdf

- [9] Nielsen J. Usability engineering. Amsterdam: Morgan Kaufmann; 2009.
- [10] MacDonald CV, Brooks CJ, Kozey J, Habib A. An ergonomic evaluation of infant life jackets: Donning time & donning accuracy. Appl Ergon. 2011;42:314-20.
- [11] Jones J, McMullen MJ, Dougherty J. Toxic smoke inhalation: Cyanide poisoning in fire victims. Am J Emerg Med. 1987;5(4):317-21.
- [12] Khanna R. Evaluation of consumer personal protective equipment: emergency escape masks [Internet]. Usfa.fema.gov. 2007 [cited 8 February 2019]. Available from: <https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/escape-mask-evaluation.pdf>
- [13] Rubin J, Chisnell D. Handbook of usability testing. Indianapolis, IN: Wiley Pub.; 2008.
- [14] Fundamentals of fire fighter skills. Sudbury, MA: Jones and Bartlett; 2009.
- [15] Noldus LPJJ. The Observer: A software system for collection and analysis of observational data. Behav Res Methods Instrum Comput. 1991;23(3):415-29.
- [16] Stephens MA. EDF Statistics for goodness of fit and some comparisons. JASA. 1974;69:730-7.
- [17] Box G, Cox D. An Analysis of Transformations (with Discussion). J R Stat Soc Series B Stat Methodol. 1964;26:211-52.
- [18] Marras W, Karwowski W. The occupational ergonomics handbook. Boca Raton, Florida.: Taylor & Francis; 2006.
- [19] Teeravarunyou S, Kitirojpan P. The usability of respiratory protective device on instruction with images : International Conference on Imaging and Printing Technologies; 2011 Aug 17-20; Bangkok, Thailand.