

การพยากรณ์การพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุของประเทศไทย

Forecasting the Elderly Falls in Thailand

สุชาพันธ์ ธัญญกุลสัจจา

Suchanan Thanyakunsajja

สาขาวิชาการพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยชินวัตร

Adult and Elderly Nursing, Faculty of Nursing, Shinawatra University

ฉัตรสิริ ฉัตรภูติ*

Chatsiri Chatphuti*

สาขาวิชาการพยาบาลอนามัยชุมชน คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยชินวัตร

Community Health Nursing, Faculty of Nursing, Shinawatra University

E-mail : suchanan.t@sui.ac.th and chatsiri.c@sui.ac.th*

*Corresponding author

(Received: 27 March 2025, Revised: 17 June 2025, Accepted: 18 June 2025)

<https://doi.org/10.57260/stc.2025.1140>

บทคัดย่อ

ประเทศไทยจัดอยู่ในระดับสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ สถิติการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป ระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง 2566 โดยเฉลี่ยต่อปี มีอัตราต่อแสนคนของผู้สูงอายุที่เป็นผู้ป่วยนอก 1,547 ราย ผู้ป่วยใน 595 ราย และเสียชีวิต 12 ราย ณ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2568 ยังไม่มีรายงานสถิติการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ ปี พ.ศ. 2567 แต่อย่างใด การวิจัยเชิงพยากรณ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์สถิติการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ 60 ปี ขึ้นไปปี พ.ศ. 2567 และ พ.ศ. 2568 โดยรวบรวมข้อมูลจากกองป้องกันการบาดเจ็บ กรมควบคุมโรค พยากรณ์โดยใช้ทฤษฎีระบบเกรย์ เนื่องจากมีข้อมูลรายปีจำกัดเพียง 7 ปีเท่านั้น ผลการพยากรณ์ พบว่า การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยนอกที่มาจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุกลับมีค่าความแม่นยำเพียงมีเหตุผลพอที่จะใช้พยากรณ์ได้เท่านั้น (MAPE 17.52-26.90) ทำให้พยากรณ์จำนวนผู้ป่วยในสูงจากปี พ.ศ. 2566 และ 2567 มาก เมื่อพิจารณารูปแบบการเปลี่ยนแปลงปีต่อปีของจำนวนผู้ป่วยนอกที่มาจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ พบว่า มีความผันผวนสูงมาก การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยในที่มาจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ และการพยากรณ์จำนวนผู้เสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้ม พบว่า มีค่าความแม่นยำ MAPE อยู่ในเกณฑ์ใช้พยากรณ์ได้ดีและแม่นยำสูงตามลำดับ (MAPE 9.26-15.45 และ 4.15-4.60 ตามลำดับ) ค่าพยากรณ์ที่ได้นี้สามารถใช้ในการจัดทำนโยบาย วางแผนป้องกัน และจัดสรรทรัพยากรในการบริหารงานสาธารณสุขต่อไป

คำสำคัญ: การพยากรณ์ ผู้สูงอายุ การพลัดตกหกล้ม ทฤษฎีระบบเกรย์

Abstract

Thailand is considered a fully aged society. From 2017 to 2023, the average annual rate of falls among elderly individuals aged 60 and above was 1,547 outpatient cases, 595 inpatient cases, and 12 fatalities per 100,000 elderly people. As of June 2025, statistics on elderly falls for the year 2024 have yet to be reported. This forecasting research aimed to forecast the statistics of falls among the elderly aged 60 years and over in 2024 and 2025 by collecting data from the Injury Prevention Division, Department of Disease Control. Forecasting using the Gray System Theory because there was limited annual data for only 7 years. The forecasting results indicated that the prediction of the number of outpatients from falls among the elderly had an accuracy value that was reasonably sufficient for forecasting (MAPE 17.52–26.90). However, the forecasted number of outpatients was significantly higher than in 2023 and 2024. Analyzing the year-on-year variation in outpatient cases due to falls in the elderly revealed high volatility. In contrast, the predictions for the number of inpatients and fatalities from falls among the elderly demonstrated good and highly accurate forecasting precision, respectively (MAPE 9.26–15.45 and 4.15–4.60). These forecasted values can be utilized for policymaking, prevention planning, and resource allocation in public health administration.

Keywords: Forecasting, The elderly, Falls, Grey systems theory

บทนำ

การพลัดตกหกล้มเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญทั่วโลก มีผู้พลัดตกหกล้มเสียชีวิตจากการล้มประมาณ 684,000 รายต่อปี ทำให้การพลัดตกหกล้มเป็นสาเหตุการเสียชีวิตมากเป็นอันดับสองรองจากอุบัติเหตุทางถนน ผู้เสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้มมากกว่า 80% เกิดขึ้นในประเทศที่มีรายได้น้อยและปานกลาง โดยภูมิภาคแปซิฟิกตะวันตกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คิดเป็น 60% ของผู้เสียชีวิตทั้งหมด ในทุกภูมิภาคของโลก อัตราการเสียชีวิตสูงสุดในกลุ่มผู้ใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 60 ปี (World Health Organization, 2021) ในสหรัฐอเมริกาผู้สูงอายุจำนวนมากกว่า 14 ล้านคนหรือ 1 ใน 4 ของผู้สูงอายุเกิดการพลัดตกหกล้มทุกปี (Kakara et al., 2023) การหกล้มในผู้สูงอายุเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยและอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ สาเหตุหลักของการพลัดตกหกล้ม ได้แก่ ปัจจัยด้านสุขภาพ: การเปลี่ยนแปลงของร่างกาย เช่น การเสื่อมของกล้ามเนื้อและข้อต่อ หรือปัญหาสายตา เช่น ต้อกระจก โรคประจำตัว เช่น โรคพาร์กินสัน โรคหลอดเลือดสมอง หรือโรคเบาหวาน ผลข้างเคียงจากยา เช่น ยานอนหลับ หรือยาลดความดันโลหิตที่อาจทำให้เกิดอาการมึนงง และ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม: พื้นลื่นหรือไม่เรียบ แสงสว่างไม่เพียงพอโดยเฉพาะในเวลากลางคืน การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ที่ไม่เหมาะสมหรือมีสิ่งกีดขวางทางเดิน (U.S. Centers for Disease Control and Prevention, 2025) ผลกระทบจากการหกล้มในผู้สูงอายุมีหลายด้าน

ได้แก่ ด้านร่างกาย: เมื่อผู้สูงอายุหกล้มทำให้เกิดการบาดเจ็บตั้งแต่บาดเจ็บเล็กน้อยเช่น ฟกช้ำ เกิดแผลจนกระทั่งบาดเจ็บรุนแรงถึงขั้น กระดูกหักโดยเฉพาะกระดูกสะโพกหักในผู้สูงอายุ, กระดูกสันหลังหัก, สมองได้รับบาดเจ็บ ซึ่งการบาดเจ็บเหล่านี้มักต้องเข้ารับการรักษารักษาในโรงพยาบาล ผู้สูงอายุบางรายสูญเสียความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวันหรืออาจเกิดความพิการหรือทุพพลภาพตามมา หรือผู้สูงอายุบางรายบาดเจ็บรุนแรงอาจถึงขั้นตายได้ ด้านจิตสังคม: หลังจากหกล้มแล้วผู้สูงอายุจะมีประสบการณ์ของความกังวลใจขาดความมั่นใจในการเดินหรือการช่วยเหลือตนเองลดลง และกลัวหกล้มซ้ำ จนบางครั้งผู้สูงอายุแยกตัว ไม่เข้าร่วมกิจกรรมในสังคม และอาจเกิดภาวะซึมเศร้า ต้องพึ่งพาผู้อื่นมากขึ้นจนทำให้คุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุลดลงและด้านเศรษฐกิจ: ผู้สูงอายุที่ได้รับบาดเจ็บจนเข้ารับการรักษารักษาในโรงพยาบาลส่งผลให้ผู้สูงอายุเองหรือครอบครัวต้องเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล บางรายผู้สูงอายุที่หกล้มต้องรักษาอยู่โรงพยาบาลนานอาจเกิดภาวะแทรกซ้อน (ผลข้างเคียง) เช่น แผลกดทับ ข้อกระดูกต่างๆติดแข็ง หรือเกิดการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ ซึ่งทุกภาวะที่เกิดขึ้นย่อมเพิ่มภาระค่าใช้จ่ายมากขึ้น ส่งผลให้ผู้สูงอายุและครอบครัวมีความเครียดกังวลใจในด้านเศรษฐกิจ การป้องกันการหกล้มสามารถทำได้โดยการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในบ้าน เช่น การติดตั้งราวจับในห้องน้ำ การจัดบ้านให้เป็นระเบียบ และการดูแลสุขภาพของผู้สูงอายุ เช่น การออกกำลังกายที่เหมาะสมและการรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ (มนสภรณ์ วิฑูรเมธา, 2565)

ประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างรวดเร็ว โดยจำนวนประชากรผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และคาดการณ์ว่าจะคิดเป็นร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมดในปี พ.ศ. 2564 และสัดส่วนผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และคาดการณ์ว่าจะคิดเป็นร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมดในปี พ.ศ. 2564 ภูมิภาคที่มีสัดส่วนผู้สูงอายุมากที่สุดคือภาคเหนือ ตามมาด้วยภาคกลาง ข้อมูลยังชี้ให้เห็นว่ามีผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่ลำพังหรืออยู่กับคู่สมรสเท่านั้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การหกล้มในผู้สูงอายุเป็นปัญหาที่สำคัญเนื่องจากเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับสองรองจากอุบัติเหตุทางการขนส่ง มีผู้เสียชีวิตกว่า 1,000 รายต่อปี ในแต่ละปี ผู้สูงอายุราวร้อยละ 30 หรือประมาณ 3 ล้านคนเคยประสบเหตุหกล้ม และในจำนวนนี้ร้อยละ 20 หรือกว่า 6 แสนคนได้รับบาดเจ็บ โดยผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่ในเอนสซิงโฮมมีความเสี่ยงที่จะหกล้มมากกว่าผู้สูงอายุในชุมชนถึงสองเท่า และอุบัติเหตุในช่วงฤดูฝนเกิดขึ้นบ่อยที่สุด โดยเฉพาะในช่วงเวลาบ่ายถึงเย็น ผู้ชายมีอัตราการเสียชีวิตจากการหกล้มสูงกว่าผู้หญิงถึง 3.5 เท่า แต่ในทางกลับกัน ผู้หญิงมีโอกาสหกล้มบ่อยกว่าผู้ชายถึง 1.6 เท่า เหตุการณ์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นนอกบ้าน คิดเป็นร้อยละ 65 และอีกประมาณร้อยละ 31 เกิดภายในบ้าน สาเหตุสำคัญมาจากการลื่น สะดุด หรือก้าวพลาดบนพื้นระดับเดียวกัน ขณะที่การตกจากบันไดพบได้น้อยกว่า ผลกระทบจากการหกล้มไม่ได้จำกัดเพียงแค่ร่างกาย เช่น บาดแผลและกระดูกหัก แต่ยังส่งผลต่อจิตใจและภาระทางการเงินของครอบครัวในการดูแลระยะยาว ซึ่งมักมีค่าใช้จ่ายสูง การป้องกันที่ได้ผลคือการส่งเสริมการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาความแข็งแรงและการทรงตัว นอกจากนี้ควรประเมินความเสี่ยงและปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายในบ้านให้ปลอดภัย (กรมควบคุมโรค, 2568) ผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับปัจจัยเสี่ยงและการป้องกันพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุร้อยละ 80-95 แต่พบว่าผู้สูงอายุมีความเข้าใจและปฏิบัติตัวยังไม่เหมาะสม เรื่อง การนั่งเก้าอี้อาบนํ้า, การนำเสื้อผ้าเก่ามาเป็นผ้าเช็ดตัว, การใช้ยา, และการสวม

รองเท้าแบบหุ้มส้นพื้นมีดอกยางไม่ลื่น ถึงร้อยละ 63.40, 59.94, 37.12 และ 30.06 ตามลำดับ (กองป้องกัน การบาดเจ็บ กรมควบคุมโรค, 2566) จากการตรวจสอบสถิติประชากรทางทะเบียนราษฎร์ ณ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 มีประชากรอายุ 60 ปี ขึ้นไปร้อยละ 20.99 (มากกว่าร้อยละ 20) และ มีคนอายุ 65 ปี ขึ้นไป ร้อย ละ 14.37 (มากกว่าร้อยละ 14) ของประชากรทั้งประเทศ (สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง, 2568) ประเทศไทยจัดอยู่ในระดับสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged society) (Independent Evaluation Group, World Bank Group, 2019)

การพยากรณ์จำนวนผู้หกล้มมีความสำคัญอย่างมากในการบริหารงานสาธารณสุข เนื่องจากช่วยให้ หน่วยงานด้านสุขภาพสามารถ: 1) วางแผนการป้องกัน: การทราบแนวโน้มของการหกล้มในประชากรผู้สูงอายุ ช่วยให้องค์กรสุขภาพสามารถวางแผนมาตรการป้องกันที่เหมาะสม เช่น การส่งเสริมการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ การปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้ปลอดภัย และการให้ความรู้แก่ครอบครัวและผู้ดูแล 2) การจัดสรร ทรัพยากร: การคาดการณ์ช่วยให้ทราบจำนวนผู้ที่อาจต้องได้รับการรักษาพยาบาลหรือการฟื้นฟูสมรรถภาพ ทำให้สามารถจัดสรรบุคลากรทางการแพทย์ งบประมาณ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้อย่างเหมาะสม 3) ลด ค่าใช้จ่าย: การป้องกันการหกล้มตั้งแต่ต้นช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดการบาดเจ็บรุนแรง เช่น กระดูกหัก หรือการบาดเจ็บทางสมอง ซึ่งมักมีค่าใช้จ่ายสูงทั้งในด้านการรักษาพยาบาลและการฟื้นฟู 4) ยกระดับคุณภาพ ชีวิต: เมื่อผู้สูงอายุหลีกเลี่ยงการหกล้มได้ ความมั่นใจในการดำเนินชีวิตและความสามารถในการทำกิจกรรม ต่าง ๆ จะเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยส่งเสริมคุณภาพชีวิตโดยรวม 5) การติดตามและปรับปรุงนโยบาย: ข้อมูลการ พยากรณ์สามารถใช้เพื่อประเมินความสำเร็จของนโยบายด้านสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับผู้สูงอายุ และปรับปรุงให้มี ประสิทธิภาพมากขึ้น การพยากรณ์เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้สังคมมีความพร้อมในการรับมือกับปัญหาที่ อาจเกิดขึ้น และลดผลกระทบต่อครอบครัวและระบบสุขภาพโดยรวม

ข้อมูลตารางแสดงจำนวนและอัตราผู้ป่วยนอก, ผู้ป่วยใน และผู้เสียชีวิต จากการพล็อตตกหกล้มใน ผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป ต่อประชากรผู้สูงอายุแสนคน จำแนกรายจังหวัด ปี พ.ศ. 2560 – 2566 พบว่าไม่ มีข้อมูลปี พ.ศ. 2567 ที่ผ่านมา (กองป้องกันการบาดเจ็บ กรมควบคุมโรค, 2568) การคาดการณ์อุบัติการณ์ การหกล้มในผู้สูงอายุถือเป็นประเด็นสำคัญในการบริหารจัดการด้านสาธารณสุขของประเทศไทย วิธีการที่ สามารถพยากรณ์โดยใช้เพียงข้อมูลในอดีต คือ วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลา (Time series forecasting) ผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปที่พักพิงตกหกล้มของประเทศไทย โดยในบทความนี้จะใช้คำว่า “ผู้สูงอายุ”

ทฤษฎีระบบเกรย์ (Grey system theory) เหมาะสมกับข้อมูลที่มีจำกัด เช่นกรณีการพล็อตตกหกล้ม ในผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปของประเทศไทยที่มีข้อมูลที่มีเพียง 7 ปี เนื่องจากทฤษฎีนี้ถูกออกแบบมาเพื่อ จัดการกับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์และ/หรือมีจำนวนน้อย ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้กับวิธีการทางสถิติปกติได้ โดยข้อ ได้เปรียบและเหตุผลที่ทฤษฎีระบบเกรย์เหมาะสมมีดังนี้: 1) สามารถวิเคราะห์แนวโน้มในข้อมูลชุดเล็กได้: ทฤษฎีระบบเกรย์สามารถสร้างแบบจำลองที่แม่นยำ แม้ว่าจะมีข้อมูลที่จำกัดเพียง 4-10 จุดเท่านั้น 2) ลดความ ซับซ้อนของข้อมูล: ข้อมูลที่อาจดูไม่ชัดเจนหรือลำดับสับสนจะถูกเปลี่ยนเป็นรูปแบบเชิงเส้นผ่านกระบวนการ สะสม (Accumulated generation operation - AGO) เพื่อหาความสัมพันธ์และแนวโน้มได้ง่ายขึ้น

3) สามารถคาดการณ์ข้อมูลในอนาคต: การใช้แบบจำลอง GM(1,1) ในทฤษฎีนี้ช่วยในการพยากรณ์แนวโน้มข้อมูลในอนาคตในปีถัดจากชุดข้อมูลได้ 4) ความยืดหยุ่นสูง: ทฤษฎีนี้ไม่ต้องการสมมติฐานที่เข้มงวด เช่น การแจกแจงปกติหรือความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในข้อมูล 5) การประยุกต์ทฤษฎีระบบเกรย์ หากใช้ข้อมูลเพียง 7 ปีของอัตราการหกล้มในผู้สูงอายุ ทฤษฎีระบบเกรย์สามารถช่วยให้พยากรณ์อัตราการหกล้มในปีที่ 8 และ 9 ได้ (Gerus-Gosciewska & Gosciewski, 2021) โดยข้อมูลที่คาดการณ์จะช่วยวางแผนป้องกันและจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสมในการบริหารงานสาธารณสุข

จากการสืบค้นบทความวิชาการพบเพียงแบบจำลองการทำนายความเสี่ยงต่อการหกล้มสำหรับผู้สูงอายุที่ต้องเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลอย่างเป็นระบบ (Mao et al., 2025) แบบจำลองการทำนายความเสี่ยงในการล้มของผู้สูงอายุโดยอาศัยการวิเคราะห์การเดิน (Jia et al., 2024) ไม่พบมีการใช้อนุกรมเวลาพยากรณ์จำนวนผู้สูงอายุพลัดตกหกล้มแต่อย่างใด

วัตถุประสงค์

พยากรณ์จำนวนผู้ป่วยนอก จำนวนผู้ป่วยใน และจำนวนผู้เสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2567 และ พ.ศ. 2568 โดยใช้ทฤษฎีระบบเกรย์

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพยากรณ์เชิงปริมาณด้วยอนุกรมเวลา (Quantitative time series forecasting research) เกี่ยวกับจำนวนผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปซึ่งในบทความนี้จะเรียกว่า “ผู้สูงอายุ” ที่พลัดตกหกล้มของประเทศไทย

การรวบรวมข้อมูล

แหล่งข้อมูล

กองป้องกันการบาดเจ็บ กรมควบคุมโรค (2568) ข้อมูลการพลัดตกหกล้ม (W00 - W19) ในรูปแบบแฟ้ม Excel

ประชากร

ผู้สูงอายุที่พลัดตกหกล้มของประเทศไทย

หน่วยตัวอย่าง

จำนวนผู้ป่วยนอกจากการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ ปี พ.ศ. 2560 – 2566 จำนวนผู้ป่วยในจากการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ ปี พ.ศ. 2561 – 2566 และจำนวนผู้เสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ ปี พ.ศ. 2560 – 2566 ตามรายงานของกองป้องกันการบาดเจ็บ กรมควบคุมโรค (2568) เป็นข้อมูลจำนวนรวมของผู้ป่วยแต่ละเรื่องในแต่ละปี ไม่มีข้อมูลรายบุคคลที่สามารถสืบค้นกลับไปยังบุคคลใดๆ ได้

การทดสอบข้อมูล

เนื่องจากมีข้อมูลเพียงแหล่งเดียว ไม่สามารถสอบทานความถูกต้องเชิงปริมาณกับหน่วยงานอื่นได้
เครื่องมือที่ใช้บันทึกข้อมูล

โปรแกรมสำเร็จรูปในรูปแบบตาราง Excel ตัวแบบตามทฤษฎีระบบเกรย์ (Grey systems theory)

สมการของตัวแบบพื้นฐานตามทฤษฎีระบบเกรย์ คือ ตัวแบบ GM(1,1) (Liu, & Lin, 2010) มีสูตรการคำนวณแสดงในสมการ 1-17 ดังนี้

ค่าข้อมูลจริงจำนวน n ค่า จาก $1, 2, 3, \dots, n$

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) \quad (1)$$

ค่าข้อมูลสะสมจำนวน n ค่า จาก $1, 2, 3, \dots, n$

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)) \quad (2)$$

ค่าข้อมูลสะสมรายการที่ k

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

ค่าข้อมูลสะสมเฉลี่ยกับรายการก่อนหน้า

$$Z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)) \quad (4)$$

ค่าข้อมูลสะสมเฉลี่ยกับรายการก่อนหน้ารายการที่ k

$$z^{(1)}(k) = \frac{1}{2}(x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)), k = 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

M^T คือ เมทริกซ์สลับเปลี่ยน (Transpose matrix) M

M^{-1} คือ เมทริกซ์ผกผัน (Inverse matrix) ของเมทริกซ์ M

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \quad (6)$$

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & 1 \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$a = (B^T B)^{-1} B^T Y = [a \quad b]^T \quad (8)$$

a คือ สัมประสิทธิ์การพัฒนา (The development coefficient) และ b คือ ปริมาณ

กระทำสีเทา (The grey action quantity)

สมการอนุพันธ์ของตัวแบบ GM(1,1)

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (9)$$

$$(10)$$

ค่าพยากรณ์สะสมรายการที่ $k+1$

$$x^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{ak} + \frac{b}{a}$$

ค่าพยากรณ์รายการที่ $k+1$

$$x^{(0)}(k+1) = (1 - e^a) \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-ak}, k = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

ตัวแบบ GM(1,1) Expanded with periodic correction model (GM(1,1)EPC) เป็นการนำตัวแบบ GM(1,1) มาทำการปรับค่าคลาดเคลื่อนด้วยอนุกรมฟูริเยร์ (The fourier series) (Lin et al., 2013; Kayacan et al., 2010) ซึ่งเป็นฟังก์ชันตรีโกณมิติ cosine และ sine ที่ปรับค่าพยากรณ์ให้เข้าใกล้ค่าจริงได้ดีกว่าตัวแบบ GM(1,1)

ค่าความคลาดเคลื่อนรายการที่ k

$$\varepsilon^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \quad (12)$$

$$\varepsilon^{(0)}(k) \cong \frac{1}{2} a_0 + \sum_{i=1}^Z \left[a_i \cos\left(\frac{2\pi i}{T}\right) + b_i \sin\left(\frac{2\pi i}{T}\right) \right], k = 2, 3, \dots, n \quad (13)$$

$$T = n - 1, Z = \frac{(n-1)}{2} - 1$$

การปรับค่าด้วยอนุกรมฟูริเยร์

$$P = \begin{bmatrix} 1/2 & \cos\left(2\frac{2\pi 1}{T}\right) & \sin\left(2\frac{2\pi 1}{T}\right) & \cos\left(2\frac{2\pi}{T}2\right) & \sin\left(2\frac{2\pi}{T}2\right) & \dots & \cos\left(2\frac{2\pi}{T}Z\right) & \sin\left(2\frac{2\pi}{T}Z\right) \\ 1/2 & \cos\left(3\frac{2\pi}{T}1\right) & \sin\left(3\frac{2\pi}{T}1\right) & \cos\left(3\frac{2\pi}{T}2\right) & \sin\left(3\frac{2\pi}{T}2\right) & \dots & \cos\left(3\frac{2\pi}{T}Z\right) & \sin\left(3\frac{2\pi}{T}Z\right) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/2 & \cos\left(n\frac{2\pi}{T}1\right) & \sin\left(n\frac{2\pi}{T}1\right) & \cos\left(n\frac{2\pi}{T}2\right) & \sin\left(n\frac{2\pi}{T}2\right) & \dots & \cos\left(n\frac{2\pi}{T}Z\right) & \sin\left(n\frac{2\pi}{T}Z\right) \end{bmatrix} \quad (14)$$

สมาชิกของเวกเตอร์ C

$$C = [a_0 \quad a_1 \quad b_1 \quad a_2 \quad b_2 \quad \dots \quad a_n \quad b_n] \quad (15)$$

$$C \cong (P^T P)^{-1} P^T \varepsilon^{(0)} \quad (16)$$

ค่าพยากรณ์รายการที่ k

$$\hat{x}^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - \varepsilon^{(0)}(k) \quad (17)$$

การตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบ

ค่าข้อมูลจริง y_i จำนวน n ค่า โดย $i = 1, 2, \dots, n$ ส่วน y_i เป็นค่าพยากรณ์ สำหรับคาบเวลาตามข้อมูลที่นำมาใช้พยากรณ์ ส่วนค่าพยากรณ์ไปในอนาคต $i = n+1, n+2, \dots$

ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (The mean absolute percentage error - MAPE)

$$MAPE = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \right) \times 100\% \quad (18)$$

การนำ MAPE มาใช้เพราะ MAPE มีหน่วยเป็นร้อยละที่ทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจได้ง่าย (Andrés, 2023) โดยมีเกณฑ์ความแม่นยำกำหนดดังนี้ MAPE มีค่าน้อยกว่า 10, 10 ถึง 20, 20 ถึง 50, และ มากกว่า 50 ตัวแบบมีความแม่นยำสูง, ใช้พยากรณ์ได้ดี, มีเหตุผลพอที่จะใช้พยากรณ์ได้, และ ไม่มีความแม่นยำ ตามลำดับ (Lewis, 1982)

ในการพยากรณ์แต่ละโรค ทำการเปรียบเทียบค่า MAPE ของตัวแบบ GM(1,1) และ GM(1,1)EPC เลือกตัวแบบที่มีค่า MAPE ในช่วงเวลาการพัฒนาตัวแบบที่ต่ำกว่ามาใช้พยากรณ์ อย่างไรก็ตาม ก็สามารถเลือกตัวแบบที่น่าจะสอดคล้องกับสถานการณ์แทนได้

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป EXCEL

การสร้างตัวแบบตามทฤษฎีระบบเกรย์ โดยการจัดข้อมูลเป็น array แล้วใช้คำสั่งการคูณเมทริกซ์ =MMULT(array1,array2) และคำสั่งการหาค่าเมทริกซ์ผกผัน =MINVERSE(array)

กรณีที่มีข้อมูล n ปี แล้วต้องการพยากรณ์ปีที่ n+1, n+2, ... สามารถการพยากรณ์แบบวนซ้ำ (Recursive forecasting) โดยใช้ค่าปีที่ 1 ถึง n รวมกับค่าพยากรณ์ในปีที่ n+1 มาเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลในชุดเวลา เพื่อพยากรณ์ปีถัดไป (n+2) และกระบวนการนี้สามารถดำเนินการต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาที่ต้องการ ในทางปฏิบัติมักใช้ในกรณีที่ต้องการสร้างการพยากรณ์ระยะยาว แต่มีเงื่อนไขคือความแม่นยำอาจลดลงเมื่อจำนวนรอบในการพยากรณ์เพิ่มขึ้น เพราะค่าพยากรณ์ที่ใช้แทนข้อมูลจริงอาจมีข้อผิดพลาดสะสม (error propagation) (Liu et al., 2023)

การพิทักษ์สิทธิอาสาสมัคร

การวิจัยที่ใช้ข้อมูลจำนวนผู้ป่วยที่เป็นผู้สูงอายุจากการปลัดตกโดยรวมรายปีจากข้อมูลทุติยภูมิที่เปิดเผยและสามารถเข้าถึงได้โดยบุคคลทั่วไป ไม่สามารถระบุตัวตนปัจเจกบุคคลใด ๆ ได้ เมื่อใช้แบบประเมินตนเองของศูนย์ส่งเสริมจริยธรรมการวิจัยในคน สำนักงานอธิการบดีมหาวิทยาลัยมหิดล (2565) แล้ว พบว่าเป็นงานวิจัยที่ไม่เข้าข่ายการวิจัยในคนตามประกาศมหาวิทยาลัยมหิดล เรื่อง แนวปฏิบัติสำหรับโครงการวิจัยที่ไม่เข้าข่ายการวิจัยในคน (มหาวิทยาลัยมหิดล, 2565) และ คำบรรยายเรื่อง “ความสำคัญของการขอรับรองจริยธรรมการวิจัย” (พรพิมล อดัมส์, 2568).

ผลการวิจัย

การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยนอก จำนวนผู้ป่วยใน และจำนวนผู้เสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2567 และ พ.ศ. 2568 ดังแสดงในตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 ตามลำดับ

การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยนอกจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2568

จากตารางที่ 1 การพยากรณ์ปี พ.ศ. 2567 ใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2560 - 2566 ตัวแบบ GM(1,1) มีค่า MAPE 20.34 ต่ำกว่า GM(1,1)EPC พยากรณ์ว่าจะมีผู้ป่วยนอก 445,687 ราย เพิ่มจากปี พ.ศ. 2566 ร้อยละ 29.24 เมื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับการพยากรณ์ปี พ.ศ. 2568 ตัวแบบ GM(1,1) มีค่า MAPE 17.52 ต่ำกว่า GM(1,1)EPC พยากรณ์ว่าจะมีผู้ป่วยนอก 605,211 ราย เพิ่มจากปี พ.ศ. 2567 ร้อยละ 35.79

การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยในจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2568

จากตารางที่ 2 การพยากรณ์ปี พ.ศ. 2567 ใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2561 - 2566 ตัวแบบ GM(1,1) มีค่า MAPE 9.26 ต่ำกว่า GM(1,1)EPC พยากรณ์ว่าจะมีผู้ป่วยใน 81,034 ราย เพิ่มจากปี พ.ศ. 2566 ร้อยละ 14.08 เมื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับการพยากรณ์ปี พ.ศ. 2568 ตัวแบบ GM(1,1) มีค่า MAPE 12.23 ต่ำกว่า GM(1,1)EPC พยากรณ์ว่าจะมีผู้ป่วยนอก 85,763 ราย เพิ่มจากปี พ.ศ. 2567 ร้อยละ 5.84

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ป่วยนอกจากการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุของประเทศไทย

พ.ศ.	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์	
	ผู้เสียชีวิต	GM(1,1)	GM(1,1)EPC
2560	71,735	71,735	71,735
2561	47,382	70,008	80,427
2562	104,236	95,308	71,191
2563	123,765	129,751	156,810
2564	230,552	176,640	197,507
2565	181,563	240,475	214,608
2566	344,847	327,379	311,802
MAPE		20.34	28.38
ค่าพยากรณ์รอบที่ 1			
2567		445,687	456,991

พ.ศ.	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์	
	ผู้เสียชีวิต	GM(1,1)	GM(1,1)EPC
2560	71,735	71,735	71,735
2561	47,382	70,241	53,358
2562	104,236	95,545	79,360
2563	123,765	129,964	162,615
2564	230,552	176,783	185,424
2565	181,563	240,468	224,032
2566	344,847	327,095	313,449
2567*	445,687	444,929	459,795
MAPE		17.52	26.90
ค่าพยากรณ์รอบที่ 2			
2568		605,211	590,765

หมายเหตุ * ปี พ.ศ. 2567 เป็นค่าพยากรณ์รอบที่ 1

ตารางที่ 2 จำนวนผู้ป่วยในจากการปลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุของประเทศไทย

พ.ศ.	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์		พ.ศ.	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์	
	ผู้ป่วยใน	GM(1,1)	GM(1,1)EPC		ผู้เสียชีวิต	GM(1,1)	GM(1,1)EPC
2561	46,872	46,872	46,872	2561	46,872	46,872	46,872
2562	63,733	60,942	60,581	2562	63,733	60,948	69,806
2563	65,226	64,516	59,549	2563	65,226	64,518	59,153
2564	53,383	68,299	65,720	2564	53,383	68,297	59,456
2565	89,355	72,305	75,070	2565	89,355	72,298	83,282
2566	71,035	76,545	81,811	2566	71,035	76,533	77,108
				2567*	81,034	81,017	74,961
MAPE		9.26	12.16	MAPE		12.23	15.45
ค่าพยากรณ์รอบที่ 1				ค่าพยากรณ์รอบที่ 2			
2567		81,034	80,686	2568		85,763	94,637

หมายเหตุ * ปี พ.ศ. 2567 เป็นค่าพยากรณ์

ตารางที่ 3 จำนวนผู้เสียชีวิตจากการปลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุของประเทศไทย

พ.ศ.	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์		พ.ศ.	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์	
	ผู้เสียชีวิต	GM(1,1)	GM(1,1)EPC		ผู้เสียชีวิต	GM(1,1)	GM(1,1)EPC
2560	1,046	1,046	1,046	2560	1,046	1,046	1,046
2561	1,258	1,261	1,196	2561	1,258	1,272	1,252
2562	1,318	1,308	1,380	2562	1,318	1,314	1,364
2563	1,400	1,358	1,338	2563	1,400	1,356	1,323
2564	1,262	1,409	1,324	2564	1,262	1,400	1,355
2565	1,605	1,462	1,543	2565	1,605	1,446	1,514
2566	1,472	1,517	1,534	2566	1,472	1,493	1,542
				2567*	1,510	1,542	1,473
MAPE		4.60	4.51	MAPE		4.15	4.23
ค่าพยากรณ์รอบที่ 1				ค่าพยากรณ์รอบที่ 2			
2567		1,574	1,510	2568		1,592	1,572

หมายเหตุ * ปี พ.ศ. 2567 เป็นค่าพยากรณ์รอบที่ 1

การพยากรณ์จำนวนผู้เสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2568

จากตารางที่ 3 การพยากรณ์ปี พ.ศ. 2567 ใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2560 - 2566 ตัวแบบ GM(1,1)EPC มีค่า MAPE 4.51 ต่ำกว่า GM(1,1) พยากรณ์ว่าจะมีผู้เสียชีวิต 1,510 ราย เพิ่มจากปี พ.ศ. 2566 ร้อยละ 2.55 เมื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับการพยากรณ์ปี พ.ศ. 2568 ตัวแบบ GM(1,1) มีค่า MAPE 4.15 ต่ำกว่า GM(1,1)EPC พยากรณ์ว่าจะมีผู้ป่วยนอก 1,592 ราย เพิ่มจากปี พ.ศ. 2567 ร้อยละ 5.44

การอภิปรายผล

การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยนอกจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุกลับมีค่าความแม่นยำเพียงมีเหตุผลพอที่จะใช้พยากรณ์ได้เท่านั้น (MAPE 17.52-26.90) ทำให้พยากรณ์จำนวนผู้ป่วยในสูงจากปี พ.ศ. 2566 และ 2567 มาก เมื่อพิจารณารูปแบบการเปลี่ยนแปลงปีต่อปีของจำนวนผู้ป่วยในจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุพบว่ามีความผันผวนสูงมากกล่าวคือ มีอัตราการเพิ่มขึ้น+/ลดลง - ปีต่อปี จากปี พ.ศ. 2560 ไป ปี พ.ศ. 2561 ถึง 2566 คิดเป็นร้อยละ ดังนี้ +20.27, +4.77, +6.22, -9.86, +27.18, และ -8.29 เรียกว่า มีแนวโน้มผันผวนแบบคลื่น (Cyclical or fluctuating trend) จากรูปแบบข้อมูลดังกล่าวคล้ายกับการพยากรณ์จุดความร้อนสะสมของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2566 โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2565 ตัวแบบ GM(1,1) และ GM(1,1)EPC ที่มีค่า MAPE สูง 34.89 และ 13.54 ตามลำดับเช่นกัน (วัฒนา ชยธวัช, 2567) แต่กรณีของการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยในจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ และการพยากรณ์จำนวนผู้เสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้มนอกจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ พบว่ามีค่าความแม่นยำ MAPE อยู่ในเกณฑ์ใช้พยากรณ์ได้ดีและแม่นยำสูงตามลำดับ (MAPE 9.26-15.45 และ 4.15-4.60 ตามลำดับ)

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การพยากรณ์ตามเกณฑ์ความแม่นยำ MAPE ต่ำสุด พบว่าค่าพยากรณ์ในปี พ.ศ. 2567 และ 2568 มีจำนวนผู้ป่วยในจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ 81,034 ราย และ 85,763 ราย ตามลำดับ จำนวนผู้ป่วยนอกจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ 445,687 ราย และ 605,211 ราย ตามลำดับ จำนวนผู้เสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ 1,510 และ 1,592 ราย ตามลำดับ

ข้อจำกัดของการวิจัยนี้

การพยากรณ์อนุกรมเวลาตัวแปรเดียวเป็นการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลในอดีตเพียงอย่างเดียวโดยไม่ได้นำปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องแต่อย่างใด ข้อดีคือสามารถดำเนินการได้เร็ว เพื่อให้มีการประมาณการในเบื้องต้น อย่างไรก็ตาม ผู้บริหารงานสาธารณสุขที่รับผิดชอบจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องมาพิจารณาประมาณการอนาคตรวมด้วย

ข้อค้นพบ

ข้อมูลจำนวนน้อยเพียง 6 ปี สามารถสร้างแบบจำลองตามทฤษฎีระบบเกรย์ โดยมีระดับความแม่นยำสูงได้ โดยการพยากรณ์ปี พ.ศ. 2567 และ 2568 การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยในจากการพลัดตกหกล้มใน

ผู้สูงอายุ มี MAPE 9.26 และ 12.23 ตามลำดับ การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยนอกจากการปลัดตกหกล้ม ในผู้สูงอายุ มี MAPE 20.34 และ 17.52 ตามลำดับ ส่วนการพยากรณ์จำนวนผู้เสียชีวิตจากการปลัดตกหกล้ม ในผู้สูงอายุ มี MAPE 4.51 และ 4.15 ตามลำดับ ซึ่ง MAPE น้อยกว่า 10 ตัวแบบมีความแม่นยำสูง มีค่าระหว่าง 10 ถึง 20 ตัวแบบใช้พยากรณ์ได้ดี

ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์

ข้อเสนอแนะสู่การปฏิบัติ

1. ควรทำการพยากรณ์จำนวนผู้ปลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุเชิงพื้นที่จากข้อมูลที่มีอยู่ในระดับจังหวัด ทั้งนี้เพื่อจังหวัดได้กำหนดมาตรการให้สอดคล้องกับจำนวนผู้ปลัดตกหกล้มต่อไป
2. การวางแผนพัฒนามาตรการป้องกันการปลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุให้เข้าถึงบริการคัดกรองความเสี่ยง และส่งต่อกลุ่มเสี่ยงให้ได้รับการดูแลแก้ไขที่เหมาะสมต่อไป
3. การพัฒนาระบบการจัดบริการการแพทย์ฉุกเฉินของผู้สูงอายุ โดยกลุ่มผู้สูงอายุ ญาติ ผู้ดูแล และประชาชนทั่วไป ในการแจ้งขอความช่วยเหลือ กรณีพบผู้สูงอายุบาดเจ็บจากการปลัดตกหกล้ม และสงสัยมีกระดูกหัก อวัยวะผิดปกติ ไม่สามารถขยับตัวเอง ให้โทรแจ้ง 1669 เพื่อขอความช่วยเหลือและนำส่งโรงพยาบาล โดยระบบบริการการแพทย์ฉุกเฉินด้วยความปลอดภัย
4. ส่งเสริมความรู้ด้านสุขภาพ การป้องกันการปลัดตกหกล้มให้แก่ผู้สูงอายุ ญาติ ผู้ดูแล ครอบครัว และประชาชนทั่วไป

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ประโยชน์

บูรณาการร่วมกับองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นและภาคีเครือข่ายระดับพื้นที่ในการขับเคลื่อนการดำเนินงานป้องกันการปลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุในการแก้ไขจุดเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

การออกแบบโปรแกรมลดปัจจัยเสี่ยงต่อการปลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ
ควรศึกษาการเข้าถึงบริการคัดกรองประเมินความเสี่ยงและการโปรแกรมลดปัจจัยเสี่ยงต่อการปลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมโรค. (2568). การปลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ – กรมควบคุมโรค. สืบค้นจาก <https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1037120200813042821.pdf>
- กองป้องกันการบาดเจ็บ กรมควบคุมโรค. (2566). รายงานสรุปผลการประเมินความรอบรู้การป้องกันการปลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุปีงบประมาณ 2566. สืบค้นจาก <https://www.ddc.moph.go.th/uploads/files/3714020230919075839.pdf>
- กองป้องกันการบาดเจ็บ กรมควบคุมโรค. (2568). ข้อมูลการปลัดตกหกล้ม (W00 - W19) ในผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป. สืบค้นจาก <https://ddc.moph.go.th/dip/news.php?news=23567&deptcode=>

- พรพิมล อัดัมส์. (2568). ความสำคัญของการขอรับรองจริยธรรมการวิจัย. สืบค้นจาก https://www.tm.mahidol.ac.th/research/images/Channel/slide/S2_ep30_จริยธรรมการวิจัยในคน.pdf
- มนสภรณ์ วิฑูรเมธา. (2565). การป้องกันการล้มในผู้สูงอายุ (*Falls prevention in elderly*). สืบค้นจาก <https://haamor.com/การป้องกันการล้มในผู้สูงอายุ>
- มหาวิทยาลัยมหิดล. (2565). ประกาศมหาวิทยาลัยมหิดล เรื่อง แนวปฏิบัติสำหรับโครงการวิจัยที่ไม่เข้าข่ายการวิจัยในคน. สืบค้นจาก <https://sp.mahidol.ac.th/th/LAW/policy/2565-MU-Non-Human.pdf>
- วัฒนา ชยธวัช. (2567). การใช้ทฤษฎีระบบเกรย์พยากรณ์จุดความร้อนสะสมประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งรัตนโกสินทร์*, 6(2), 1-11. สืบค้นจาก <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/RJST/article/view/250880>
- ศูนย์ส่งเสริมจริยธรรมการวิจัยในคน สำนักงานอธิการบดีมหาวิทยาลัยมหิดล. (2565). แบบประเมินว่าโครงการวิจัยของท่านเข้าข่ายการวิจัยในคนหรือไม่. สืบค้นจาก <https://sp.mahidol.ac.th/th/ethics-human/forms/checklist/2022-Human%20Research%20Checklist-researcher.pdf>
- สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง. (2568). สถิติประชากรทางการทะเบียนราษฎร(รายเดือน) แยกตามจำนวนประชากรที่มีชื่ออยู่ในทะเบียนบ้าน พื้นที่ ทั่วประเทศข้อมูลเดือน กุมภาพันธ์ 2568. สืบค้นจาก <https://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statMONTH/statmonth/#/mainpage>
- Andrés, D. (2023). *Machine Learning Pills: Error Metrics for Time Series Forecasting*. Retrieved from <https://mlpills.dev/time-series/error-metrics-for-time-series-forecasting>
- Gerus-Gosciewska, M., & Gosciewski, D. (2021). Grey Systems Theory as an Effective Method for Analyzing Scarce, Incomplete and Uncertain Data on the Example of a Survey of Public Perceptions of Safety in Urban Spaces. *Land*, 10(1), 73. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/1/73>
- Independent Evaluation Group, World Bank Group. (2019). *Approach Paper World Bank Support to Aging Countries*. Retrieved from https://ieg.worldbankgroup.org/sites/default/files/Data/reports/ap_agingcountries.pdf
- Jia, S., Si, Y., Guo, C., Wang, P., Li, S., Wang, J., & Wang, X. (2024). The prediction model of fall risk for the elderly based on gait analysis. *BMC Public Health*, 24, 2206. Retrieved from <https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-024-19760-8>

- Kakara, R., Bergen, G., Burns, E., & Stevens, M. (2023). Nonfatal and Fatal Falls Among Adults Aged ≥ 65 Years—United States, 2020–2021. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*, 72(35), 938–943. Retrieved from <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/72/wr/mm7235a1.htm>
- Kayacan, E., Ulutas, B., & Kaynak, O. (2010). Grey system theory-based models in time series prediction. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1784–1789. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.07.064>
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and business forecasting methods*. London: Butterworths.
- Liu, S., & Lin, Y. (2010). *Grey systems theory and application*. Verlag: Springer.
- Lin, Y. H., Chiu, C. C., Lin, Y. J., & Lee P. C. (2013). Rainfall prediction using innovative grey model with the dynamic index. *Journal of Marine Science and Technology*, 21(1), 63–75. Retrieved from <https://doi.org/10.6119/JMST-011-1116-1>
- Liu, L., Liu, S., Fang, Z., Jiang, A., & Shang, G. (2023). The recursive grey model and its application. *Applied Mathematical Modelling*, 119, 447–464. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.apm.2023.02.033>
- Mao, A., Su, J., Ren, M., Chen, S., & Zhang, H. (2025). Risk prediction models for falls in hospitalized older patients: a systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatr*, 25, 29. Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s12877-025-05688-0>
- U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2025). *Older Adult Fall Prevention*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/about/cdc/index.html>
- World Health Organization. (2021). Falls. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>