การบูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อพัฒนานโยบายการจัดการคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภคอย่างยั่งยืน
Integrating Spatial Data to Develop Sustainable Policies for Managing Domestic Water Quality

ธวัชชัย บุญเกิด[1*], ศุภฤกษ์ สื่อรุ่งเรือง[2], นิธิรัตน์ บุญตานนท์[3], รัชชผดุง ดำรงพิงคสกุล[4]
Tawatchai Boonkird[1*], Suparerk Suerungruang[2], Nithirat Boontanon[3], Ratchaphadung Damrongpingkasakul[4]
กลุ่มพัฒนาระบบบริหาร กรมอนามัย[1], นักวิชาการอิสระ นนทบุรี[2], ศูนย์อนามัยที่ 1 เชียงใหม่[3], สำนักสุขาภิบาลอาหารและน้ำ[4]
Public Sector Development Group, Department of Health[1*], Independent Researcher Nontaburi[2],
Regional Health Promotion Center 1 Chiangmai[3], Bureau of Food and Water Sanitation[4]
[1]Corresponding author, E-mail: poohbk@gmail.com
(Receives: January 19, 2026; Revised: January 30, 2025; Accepted: April 7, 2026)

บทคัดย่อ

การเข้าถึงน้ำสะอาดเป็นสิทธิขั้นพื้นฐานของมนุษย์ แต่ความแตกต่างด้านคุณภาพน้ำประปายังคงเป็นปัญหาสำคัญในประเทศไทย การขาดการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และการบูรณาการข้อมูลจากหลายแหล่ง ส่งผลให้การจัดสรรทรัพยากรไม่มีประสิทธิภาพ วัตถุประสงค์: เพื่อประเมินความแตกต่างเชิงพื้นที่ของคุณภาพน้ำใน 77 จังหวัด ระบุปัจจัยกำหนดทางเศรษฐสังคมและสิ่งแวดล้อม และพัฒนานโยบายการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย วิธีการศึกษา: ใช้รูปแบบการวิจัยแบบผสมผสานเชิงอธิบายตามลำดับ (Sequential Explanatory Design) ระยะที่ 1 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ระดับจังหวัด (พ.ศ. 2563-2567) ด้วยดัชนี Moran's I และแบบจำลองเศรษฐมิติเชิงพื้นที่ (OLS, SLM, SEM) ระยะที่ 2 จัดการประชุมเชิงปฏิบัติการแบบเข้มข้น (Intensive Workshop) ร่วมกับตัวแทนผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 35 คนจาก 14 หน่วยงาน ผลการศึกษา: พบการกระจุกตัวเชิงพื้นที่ของปัญหาคุณภาพน้ำ โดยมีพื้นที่เสี่ยง (Hotspots) 7 จังหวัดในภาคเหนือ แบบจำลอง OLS มีความเหมาะสมที่สุด โดยพบว่าความหนาแน่นของแสงกลางคืน (β= -1.84, $p < 0.001$) และสัดส่วนพื้นที่เกษตรกรรม (β = -0.09, $p < 0.05$) เป็นปัจจัยคาดการณ์เชิงลบผลจากการประชุมพบว่าผู้เข้าร่วมบรรลุฉันทามติ โดยให้คะแนนความสำคัญสูงสุดกับการบูรณาการข้อมูลผ่านระบบ National Water Quality Dashboard (ร้อยละ 85) สรุป: การนำหลักฐานเชิงพื้นที่มาบูรณาการร่วมกับมุมมองของผู้ปฏิบัติงานจริงช่วยลดข้อจำกัดในการทำงานแบบแยกส่วน และนำไปสู่ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (Data-driven policy) ซึ่งสามารถนำไปใช้จัดสรรทรัพยากรแบบเฉพาะพื้นที่ได้อย่างแม่นยำ

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำอุปโภคบริโภค, การบูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่, นโยบายยั่งยืน, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, แบบจำลองเศรษฐมิติเชิงพื้นที่

Abstract

Access to clean water is a fundamental human right, yet spatial disparities in tap water quality remain a significant challenge in Thailand. The lack of spatial analysis and integrated data often leads to inefficient resource allocation. Objective: To evaluate spatial disparities in water quality across 77 provinces, identify socioeconomic and environmental determinants, and develop sustainable water management policies through stakeholder engagement. Methods: A Sequential Explanatory Mixed-Methods design was employed. Phase 1 analyzed provincial-level spatial data (2020-2024) using Moran's I and spatial econometric models (OLS, SLM, SEM). Phase 2 involved an intensive

multi-stakeholder workshop with 35 representatives from 14 organizations. Results: Significant spatial clustering of water quality issues was identified, highlighting 7 hotspot provinces in the North. The OLS model exhibited the best fit, revealing Nighttime Light density (ß = -1.84, p < 0.001) and the proportion of agricultural land (ß = -0.09, p < 0.05) as negative predictors. Workshop outcomes demonstrated a strong consensus, with stakeholders prioritizing the development of a National Water Quality Dashboard (85% agreement). Conclusion: Integrating spatial evidence with practitioners' perspectives mitigates siloed operations and yields highly practical, data-driven policy recommendations for targeted resource allocation.

Keywords: Domestic water quality, Spatial data integration, Sustainable policy, Geographic Information System, Spatial econometric models

บทนำ

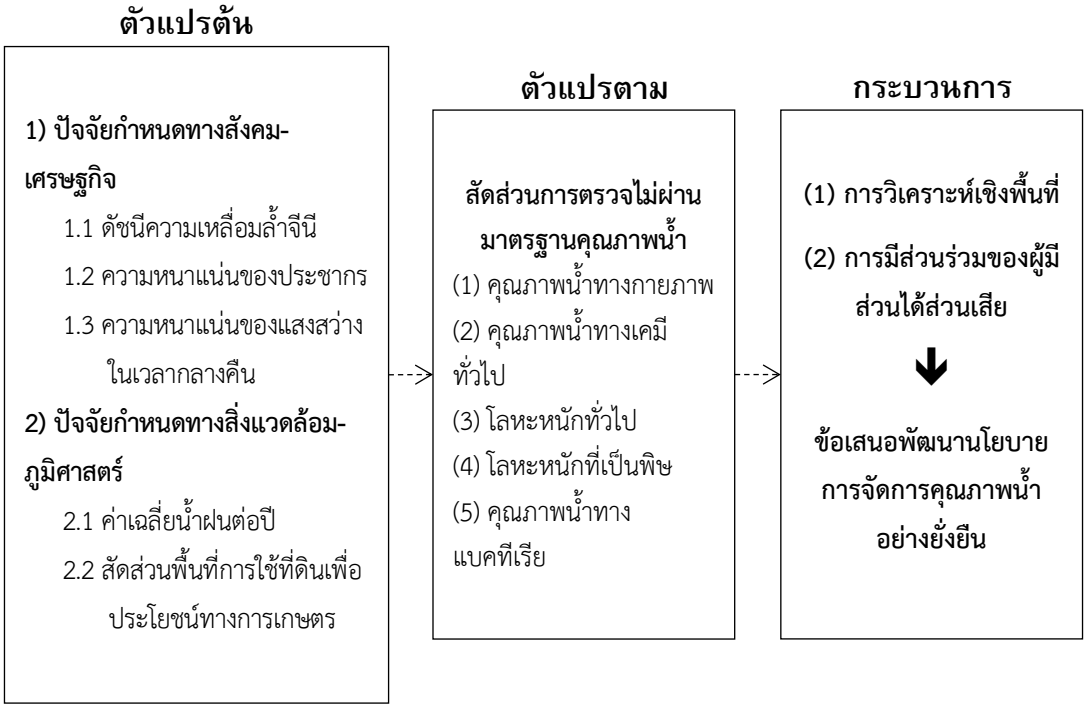
การเข้าถึงน้ำดื่มที่ปลอดภัยเป็นสิทธิมนุษยชนขั้นพื้นฐานและเป็นเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อที่ 6 (SDG 6) ขององค์การสหประชาชาติ จากรายงานล่าสุดขององค์การอนามัยโลกและยูนิเซฟ (WHO/UNICEF) ชี้ให้เห็นว่าความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงน้ำสะอาดยังคงเป็นความท้าทายระดับโลก[1] โดยน้ำที่ไม่ปลอดภัยและ การสุขาภิบาลที่ไม่ดี ยังคงส่งผลให้เกิดการเสียชีวิตจากโรคอุจจาระร่วงประมาณ 829,000 รายต่อปีทั่วโลก[2] ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มในกลุ่มประเทศรายได้ต่ำถึงปานกลาง (LMICs) รวมถึงบริบทของประเทศไทย ที่ความแตกต่างด้านคุณภาพน้ำประปาสำหรับการอุปโภคบริโภคยังคงเป็นปัญหาสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ชนบทและภูมิภาคห่างไกล[3,4]

ข้อมูลจากระบบเฝ้าระวังคุณภาพน้ำกรมอนามัย ระหว่างปี พ.ศ. 2563-2567 พบว่าอัตราการไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำในระดับจังหวัดมีความแปรปรวนสูง ตั้งแต่ร้อยละ 53.0 ถึง 90.3 (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 76.1, SD 8.7) การกระจายตัวของปัญหาคุณภาพน้ำที่ไม่สม่ำเสมอนี้ สะท้อนถึงความจำเป็นอย่างยิ่งในการประยุกต์ใช้การ วิเคราะห์เชิงพื้นที่ เพื่อระบุพื้นที่เสี่ยง (hotspots หรือ High-High clusters) และพื้นที่ที่มีสถานการณ์ดี (coldspots หรือ Low-Low clusters) ตลอดจน วิเคราะห์ปัจจัยกำหนดทางเศรษฐสังคมและสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ

งานวิจัยก่อนหน้านี้ชี้ให้เห็นว่าปัจจัยหลายมิติส่งผลต่อคุณภาพน้ำ รวมถึงปัจจัยทางธรรมชาติ สภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้น และปัจจัยทางสังคมการเมือง การ วิเคราะห์เชิงพื้นที่โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เป็นเครื่องมือสำคัญในการระบุ hotspots และ coldspots [5,6] โดยเฉพาะ ดัชนีโมแรนระดับโลก (Global Moran's I) และ ดัชนีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระดับท้องถิ่น (Local Indicators of Spatial Association: LISA) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการตรวจสอบการกระจุกตัวเชิงพื้นที่ (spatial clustering)

แม้จะมีการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในประเทศไทยหลายชิ้นงาน [7,8] แต่ยังขาดการบูรณาการข้อมูลหลายมิติและการ วิเคราะห์ผลกระทบข้ามพื้นที่ (spatial spillover effects) โดยใช้แบบจำลองเศรษฐมิติเชิงพื้นที่ เช่น แบบจำลองค่าล่าหลังเชิงพื้นที่ (Spatial Lag Model: SLM) และ แบบจำลองความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่ (Spatial Error Model: SEM) [9,10] นอกจากนี้ยังขาดการพัฒนานโยบายที่มีฐานจากหลักฐานเชิงพื้นที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการบูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่จากหลายแหล่งเพื่อประเมินความแตกต่างของคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภคใน 77 จังหวัดของประเทศไทย แสดงในกรอบแนวคิดการวิจัย ดังภาพที่ 1 ระบุปัจจัยกำหนดทางเศรษฐสังคมและสิ่งแวดล้อม และพัฒนานโยบายอย่างยั่งยืนที่สอดคล้องกับ SDG 6 และยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วัตถุประสงค์การศึกษา

1. เพื่อประเมินความแตกต่างเชิงพื้นที่ของคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภคใน 77 จังหวัดของประเทศไทย และระบุพื้นที่เสี่ยง (hotspots) และพื้นที่ที่มีสถานการณ์ดี (coldspots) โดยใช้ Global Moran's I และ LISA
2. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างสัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่านมาตรฐานกับปัจจัยกำหนดทางเศรษฐสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Bivariate LISA
3. เพื่อสร้างแบบจำลองเศรษฐมิติเชิงพื้นที่เพื่อระบุปัจจัยกำหนดที่มีนัยสำคัญต่อคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภค และทดสอบ spatial spillover effects
4. เพื่อพัฒนานโยบายอย่างยั่งยืนผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลากหลายกลุ่ม

วิธีการศึกษา

รูปแบบการวิจัย: การศึกษานี้ใช้รูปแบบการวิจัยแบบผสมผสานเชิงอธิบายตามลำดับ (Sequential Explanatory Mixed-Methods Design) โดยแบ่งกระบวนการศึกษาออกเป็น 2 ระยะ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สมบูรณ์ ได้แก่ (1) การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Analysis) เพื่อประเมินการกระจายตัวและระบุปัจจัยกำหนดทางเศรษฐสังคมและสิ่งแวดล้อม และ (2) การวิจัยเชิงคุณภาพและการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียผ่านกระบวนการ Multi-stakeholder workshops เพื่อนำหลักฐานเชิงพื้นที่มา วิเคราะห์และสังเคราะห์เป็นข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง:

ระยะที่ 1: ใช้ข้อมูลระดับจังหวัดทั้ง 77 จังหวัดของประเทศไทย (n=77) จากฐานข้อมูลกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ระหว่างปี พ.ศ. 2563-2567

ระยะที่ 2:กลุ่มตัวอย่างในการประชุมเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Intensive Multi-stakeholder Workshop) จัดขึ้นจำนวน 1 ครั้ง โดยเป็นการรวมตัวแทนระดับภูมิภาคและระดับชาติจำนวน 35 คน จาก 14 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การกระจายตัวของผู้เข้าร่วมประกอบด้วย ตัวแทนจากหน่วยงานระดับนโยบายและกำกับดูแล (ร้อยละ 17) หน่วยงานด้านเทคนิคและโครงสร้างพื้นฐาน (ร้อยละ 31) หน่วยงานด้านการเฝ้าระวังและมาตรฐาน (ร้อยละ 17) หน่วยงาน

ด้านเทคโนโลยีและฐานข้อมูล (ร้อยละ 9) ภาคการเมืองท้องถิ่นและวิชาการ (ร้อยละ 9) และทีมสนับสนุนและเลขานุการ (ร้อยละ 17) โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) ร่วมกับการสุ่มแบบแนะนำต่อ (Snowball sampling) เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนมุมมองข้ามสายงาน (Cross-pollination of ideas) อย่างครอบคลุมในเวทีเดียว

ตัวแปรการศึกษา:

ตัวแปรตาม: สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่านมาตรฐานทุกพารามิเตอร์ แบ่งเป็น 5 กลุ่มพารามิเตอร์ ได้แก่ (1) คุณภาพน้ำทางกายภาพ (ความขุ่น, สี, pH) (2) คุณภาพน้ำทางเคมีทั่วไป (TDS, ความกระด้าง, ซัลเฟต, คลอไรด์, ไนเตรต, ไนไตรท์, ฟลูออไรด์) (3) โลหะหนักทั่วไป (เหล็ก, แมงกานีส, ทองแดง, สังกะสี) (4) โลหะหนักที่เป็นพิษ (ตะกั่ว, โครเมียม, แคดเมียม, สารหนู, ปรอท) (5) คุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย (Coliform bacteria, E. coli)

ตัวแปรอิสระ: (1) ปัจจัยทางเศรษฐสังคม ประกอบด้วย Gini Index, ความหนาแน่นประชากร, ความหนาแน่นของแสงกลางคืน (NTL) เป็น proxy ของการพัฒนาเมือง (2) ปัจจัยสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย สัดส่วนพื้นที่เกษตรกรรม และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี

การเก็บรวบรวมข้อมูล: ใช้ข้อมูลทุติยภูมิระดับจังหวัดทั้ง 77 จังหวัด (n=77) จากฐานข้อมูลระบบเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ระหว่างปี พ.ศ. 2563-2567 ข้อมูลดังกล่าวครอบคลุมแหล่งตัวอย่างน้ำจากระบบประปาเทศบาล ประปาส่วนภูมิภาค ประปาหมู่บ้าน และน้ำบาดาล รวมจำนวนแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการ วิเคราะห์ทั้งสิ้น 69,914 แห่งทั่วประเทศ โดยใช้วิธีการรวบรวมข้อมูลจากการเฝ้าระวังและการสุ่มเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำตามมาตรฐานและวงรอบปกติของกรมอนามัย เพื่อ วิเคราะห์หาสัดส่วนการตรวจไม่ผ่านมาตรฐานของแต่ละจังหวัดในแต่ละปีอย่างครอบคลุม ข้อมูล NTL จากข้อมูลเศรษฐสังคมจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ และข้อมูลสิ่งแวดล้อมจากกรมอุตุนิยมวิทยาและกรมพัฒนาที่ดิน

การ วิเคราะห์ข้อมูล:

ระยะที่ 1 - การ วิเคราะห์เชิงพื้นที่:

Spatial Analysis: ใช้โปรแกรม QGIS สร้าง choropleth maps และใช้ GeoDa วิเคราะห์ spatial autocorrelation

Global Moran's I: ประเมิน spatial autocorrelation ในระดับโลก โดย $I > 0$ แสดง positive spatial autocorrelation, $I < 0$ แสดง negative spatial autocorrelation, $I \approx 0$ แสดง random distribution

Univariate LISA: ระบุ spatial clusters 4 ประเภทคือ High-High (HH) hotspots, Low-Low (LL) coldspots, High-Low (HL) และ Low-High (LH) spatial outliers ($p<0.05$)

Bivariate LISA: วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างตัวแปรอิสระกับสัดส่วนการไม่ผ่านมาตรฐาน

Multicollinearity: การตรวจสอบภาวะร่วมเส้นตรงพหุคูณ ในช่วงก่อนการสร้างแบบจำลองเศรษฐมิติเชิงพื้นที่ ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยค่าปัจจัยการขยายความแปรปรวน (Variance Inflation Factor: VIF)

Spatial Regression Models: เปรียบเทียบ 3 แบบจำลอง ได้แก่ Ordinary Least Squares (OLS), Spatial Lag Model (SLM) และ Spatial Error Model (SEM) โดยพิจารณาจาก R^2, AIC และ residual Moran's I

ระยะที่ 2 - Multi-stakeholder Workshops:

กระบวนการจัดเก็บและ วิเคราะห์ข้อมูลจากการประชุมเชิงปฏิบัติการ 1 วันเต็ม ถูกออกแบบอย่างเป็นระบบ เริ่มจากการปูพื้นฐานข้อมูล (Data priming) ด้วยผลการ วิเคราะห์เชิงพื้นที่จากระยะที่ 1 จากนั้นใช้เทคนิค World Café เพื่อให้ผู้เข้าร่วมทั้ง 35 คนได้หมุนเวียนระดมสมองอย่างทั่วถึง ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) และ วิเคราะห์แก่นสาระ (Thematic Analysis) แบบเรียลไทม์ ก่อนจะเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างฉันทามติ (Consensus building) และจัดลำดับความสำคัญของนโยบายด้วยเทคนิค Dot Voting เพื่อให้แน่ใจว่าข้อเสนอแนะที่ได้มาจากกระบวนการมีส่วนร่วมอย่างแท้จริงและปราศจากความลำเอียง

ข้อมูลที่ได้จากการประชุมเชิงปฏิบัติการผู้มีส่วนได้ส่วนเสียถูกนำมา วิเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) เพื่อประมวลผลข้อมูลจากเอกสารและข้อเสนอแนะลายลักษณ์อักษร ร่วมกับการวิเคราะห์แก่นสาระ (Thematic Analysis) เพื่อจัดกลุ่มและสังเคราะห์ประเด็นหลักจากการอภิปรายกลุ่ม (World Café) และผลการจัดลำดับความสำคัญ (Dot Voting) จากนั้นจึงทำการตรวจสอบสามเส้า (Triangulation) ระหว่างผลลัพธ์เชิงปริมาณจากระยะที่ 1 และผลลัพธ์เชิงคุณภาพจากระยะที่ 2 เพื่อนำไปสู่การพัฒนาข้อเสนอเชิงนโยบาย

จริยธรรมการวิจัย: ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ กรมอนามัย เลขที่ EC 847/2568 วันที่ 25 มิถุนายน 2568 ข้อมูลทุกชุดถูกจัดเก็บแบบ encrypted cloud storage และเปิดเผยแบบ open access เพื่อความโปร่งใส

ผลการศึกษา

1. สถิติเชิงพรรณนา

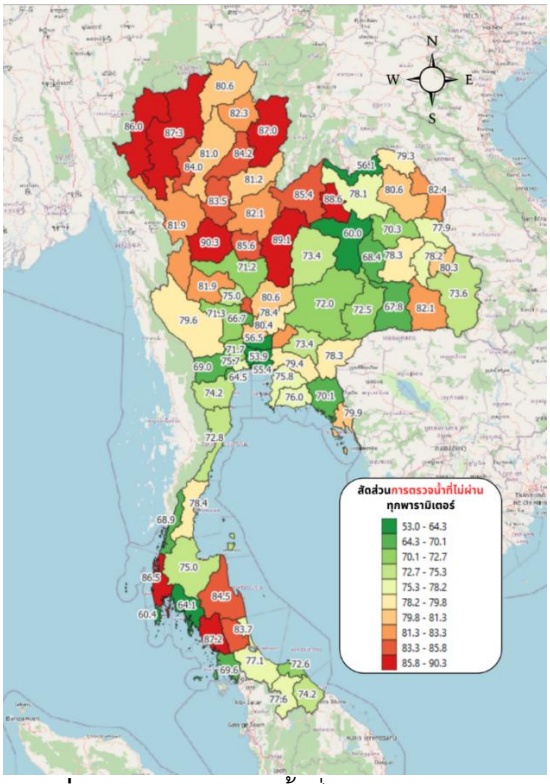
สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่านมาตรฐานทุกพารามิเตอร์ใน 77 จังหวัดมีค่าตั้งแต่ 53.0% ถึง 90.3% (ค่าเฉลี่ย 76.1%, SD 8.7%) โดยจังหวัดที่มีอัตราสูงสุด 10 อันดับแรกส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนจังหวัดที่มีอัตราต่ำสุด 10 อันดับแรกส่วนใหญ่อยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลและภาคกลาง (ตาราง 1 – 2 และภาพที่ 1)

ตาราง 1 สถิติเชิงพรรณนาของสัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่าน จำแนกตามกลุ่มพารามิเตอร์ (n=77)

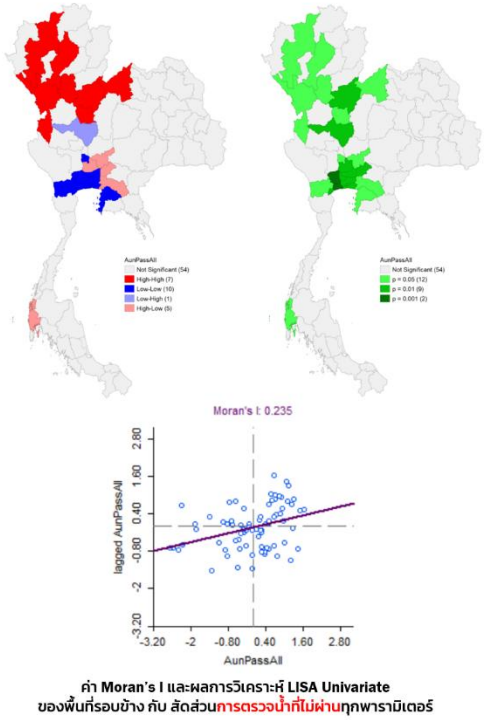
สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่าน	รายละเอียดกลุ่มพารามิเตอร์	Mean ± SD	Min	Max	Median (IQR)
ทุกพารามิเตอร์	**รวมทุกพารามิเตอร์**	**76.15 ± 8.71**	**52.95**	**90.32**	**78.16 (71.73-82.13)**
กลุ่มพารามิเตอร์ที่ 1	กายภาพ (ความขุ่น, สี, pH)	24.07 ± 7.48	6.44	42.39	23.53 (18.87-29.60)
กลุ่มพารามิเตอร์ที่ 2	เคมีทั่วไป (TDS, ความกระด้าง, ฯลฯ)	32.29 ± 10.17	13.17	55.25	30.90 (24.25-39.49)
กลุ่มพารามิเตอร์ที่ 3	โลหะหนักทั่วไป (Fe, Mn, Cu, Zn)	35.31 ± 7.60	16.98	59.58	35.44 (30.15-39.95)
กลุ่มพารามิเตอร์ที่ 4	โลหะหนักที่เป็นพิษ (Pb, Cd, As, Hg)	3.59 ± 4.52	0.00	22.56	1.99 (0.81-3.69)
กลุ่มพารามิเตอร์ที่ 5	แบคทีเรีย (Total coliforms, *E. coli*)	42.11 ± 12.28	10.00	68.38	42.43 (35.40-50.00)

ตาราง 2 สถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรอิสระ (n=77)

ตัวแปร	Mean ± SD	Min	Max
ปัจจัยสังคม-เศรษฐกิจ			
Nighttime Luminosity (nW/cm²/sr)	1.82 ± 3.28	0.29	20.72
ความหนาแน่นประชากร (คน/ตร.กม.)	243.61 ± 481.03	22.44	3,562.24
Gini Index	40.90 ± 6.30	24.42	61.43
ปัจจัยสิ่งแวดล้อม			
สัดส่วนพื้นที่เกษตร (%)	51.28 ± 19.32	3.83	95.67
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (มม./เดือน)	140.64 ± 49.52	81.12	279.93



ภาพที่ 1 สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่านทุกพารามิเตอร์ Source: This study



ภาพที่ 2 ค่า Moran's I และผลการ วิเคราะห์ LISA Univariate ของพื้นที่รอบข้าง กับ สัดส่วนการตรวจน้ำ ที่ไม่ผ่านทุกพารามิเตอร์ Source: This study

2. การ วิเคราะห์ Global Moran's I และ Univariate LISA Global Moran's I

ของสัดส่วนการไม่ผ่านมาตรฐานทุกพารามิเตอร์มีค่า I = 0.235 (p<0.05) แสดงว่ามี positive spatial autocorrelation ในระดับ weak to moderate (ภาพที่ 2)

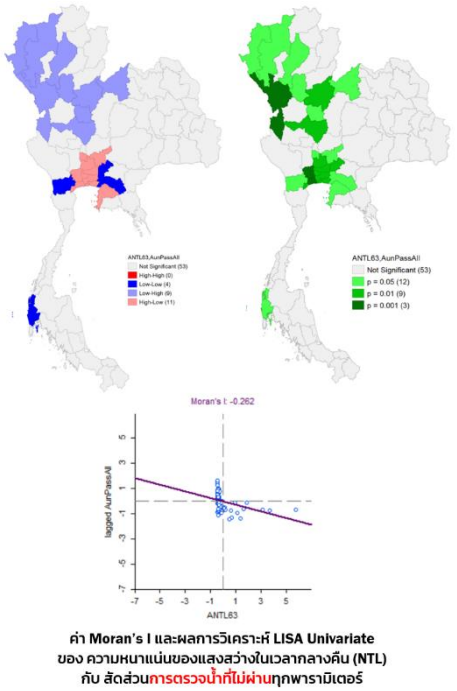
เมื่อ วิเคราะห์แยกตามกลุ่มพารามิเตอร์ พบว่า: กลุ่มที่ 4 (โลหะหนักที่เป็นพิษ) มี spatial clustering สูงสุด (I = 0.409, p<0.001) ส่วน กลุ่มที่ 5 (คุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย) มี spatial clustering รองลงมา (I = 0.386, p<0.001) ทั้งนี้ กลุ่มที่ 1-3 มี spatial autocorrelation ในระดับต่ำกว่า (ตาราง 3)

ตาราง 3 ผลการ วิเคราะห์ Global Moran's I ของสัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่าน

ตัวแปร	Moran's I	p-value	การตีความ
สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่านทุกพารามิเตอร์	**0.235**	**< 0.05**	**Weak-Moderate Positive Clustering**
สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่าน กลุ่มพารามิเตอร์ที่ 1 (กายภาพ)	0.277	< 0.05	Weak-Moderate Positive Clustering
สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่าน กลุ่มพารามิเตอร์ที่ 2 (เคมีทั่วไป)	-0.080	> 0.05	No Significant Pattern
สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่าน กลุ่มพารามิเตอร์ที่ 3 (โลหะหนักทั่วไป)	0.096	> 0.05	No Significant Pattern
สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่าน กลุ่มพารามิเตอร์ที่ 4 (โลหะหนักพิษ)	0.409	< 0.001	Moderate Positive Clustering
สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่าน กลุ่มพารามิเตอร์ที่ 5 (แบคทีเรีย)	0.386	< 0.001	Moderate Positive Clustering

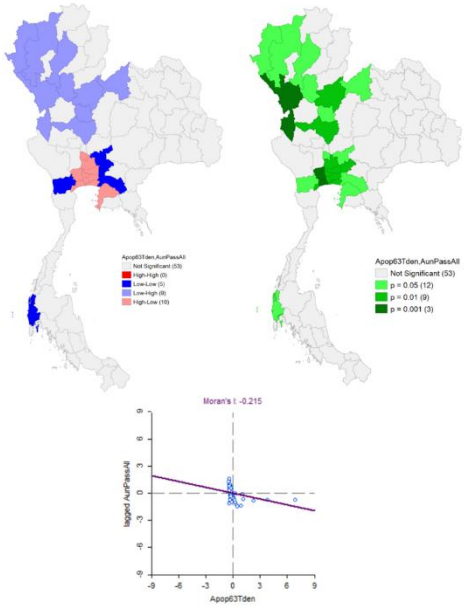
3. การ วิเคราะห์ Bivariate LISA

Bivariate LISA แสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่แบบลบระหว่าง (1) ความหนาแน่นของแสงกลางคืน (NTL) กับสัดส่วนการไม่ผ่านมาตรฐาน (I = -0.262, p<0.01) (2) ความหนาแน่นประชากรกับสัดส่วนการไม่ผ่านมาตรฐาน (I = -0.215, p<0.05) ซึ่งผลการ วิเคราะห์นี้ชี้ให้เห็นว่าพื้นที่ที่มีการพัฒนาเมืองสูงและความหนาแน่นประชากรสูงมักมีคุณภาพน้ำดีกว่า (ภาพที่ 3 และ 4)



ค่า Moran's I และผลการวิเคราะห์ LISA Univariate ของ ความหนาแน่นของแสงสว่างในเวลากลางคืน (NTL) กับ สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่านทุกพารามิเตอร์

ภาพที่ 3 ค่า Moran's I และผลการ วิเคราะห์ LISA Bivariate ของ ความหนาแน่นของแสงสว่างในเวลากลางคืน (NTL) กับ สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่านทุกพารามิเตอร์
Source: This study



ค่า Moran's I และผลการวิเคราะห์ LISA Univariate ของ ความหนาแน่นของประชากร กับ สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่านทุกพารามิเตอร์

ภาพที่ 4 ค่า Moran's I และผลการ วิเคราะห์ LISA Bivariate ของ ความหนาแน่นของประชากร กับ สัดส่วนการตรวจน้ำที่ไม่ผ่านทุกพารามิเตอร์
Source: This study

4. การวิเคราะห์ Spatial Regression Models

จากการตรวจสอบตัวแปรอิสระทั้ง 5 ตัว (ดัชนีความเหลื่อมล้ำจีนี, ความหนาแน่นประชากร, ความหนาแน่นของแสงกลางคืน, สัดส่วนพื้นที่เกษตรกรรม และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี) มีค่า VIF อยู่ระหว่าง 1.45 ถึง 2.67 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (VIF < 5) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองไม่มีปัญหา Multicollinearity

เมื่อเปรียบเทียบ 3 แบบจำลอง พบว่า OLS regression มี model fit ที่ดีที่สุด (R^2 = 0.436, AIC = 518.74) โดย residual Moran's I = -0.008 (p = 0.753) แสดงว่าไม่มี spatial dependence ที่เหลืออยู่ ดังนั้น spatial spillover effects ไม่มีนัยสำคัญในข้อมูลชุดนี้ ดังนั้น จึงสรุปปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ (1) ความหนาแน่นของแสงกลางคืน (NTL): β = -1.95 (95% CI: -3.24 ถึง -0.66, p = 0.018) เป็นปัจจัยคาดการณ์ลบ แสดงว่าพื้นที่ที่พัฒนามากมีอัตราการไม่ผ่านมาตรฐานต่ำกว่า (2) สัดส่วนพื้นที่เกษตรกรรม: β = -0.092 (95% CI: -0.17 ถึง -0.01, p = 0.026) เป็นปัจจัยคาดการณ์ลบ แสดงว่า

พื้นที่ที่มีการเกษตรสูงมีคุณภาพน้ำดีกว่า ส่วนปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ดัชนีความเหลื่อมล้ำจีนี ความหนาแน่นประชากร และปริมาณน้ำฝน ไม่พบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 4)

ตาราง 4 แบบจำลอง วิเคราะห์ถดถอยเชิงพื้นที่ที่มีอิทธิพลกับสัดส่วนการตรวดน้ำที่ไม่ผ่านทุกพารามิเตอร์กับตัวแปรอิสระ 3 ตัว

ปัจจัย	Ordinary Least Squares (OLS)	Spatial Lag Model (SLM)	Spatial Error Model (SEM)
	Coef. (95% CI)	Coef. (95% CI)	Coef. (95% CI)
ความหนาแน่นแสงกลางคืน	-1.84 (-2.35, -1.33)***	-1.81 (-2.32, -1.30)***	-1.84 (-2.33, -1.35)***
สัดส่วนพื้นที่เกษตรกรรม	-0.09 (-0.17, -0.01)*	-0.08 (-0.16, -0.00)*	-0.09 (-0.17, -0.01)*
ดัชนีความเหลื่อมล้ำจีนี	-0.26 (-0.51, -0.01)*	-0.26 (-0.51, -0.01)*	-0.26 (-0.51, -0.01)*
Constant	94.67 (82.83, 106.51)***	91.00 (69.03, 112.97)***	94.66 (83.14, 106.18)***
R-Squared	0.434	0.435	0.434
Log Likelihood	-253.48	-253.42	-253.48
AIC	514.97	516.84	514.97
Residual Moran's I / LM Test	Moran's I: 0.271 (p=0.786)	LM Lag: 0.204 (p=0.652)	LM Error: <0.001 (p=0.997)

* The correlation is statistically significant with a *p*-value less than 0.05 ** The correlation is statistically significant with a *p*-value less than 0.01 *** The correlation is statistically significant with a *p*-value less than 0.001

5. ผลการสังเคราะห์นโยบายผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม Multi-stakeholder Workshops

ผลจากการจัดเวทีประชุมเชิงปฏิบัติการแบบเข้มข้น (Intensive Workshop) พบว่าผู้แทนจาก 14 หน่วยงานมีฉันทามติร่วมกันว่าความท้าทายหลักคือการทำงานแบบไซโล (Siloed operations) โดยผลการจัดลำดับความสำคัญด้วยเทคนิค Dot Voting สะท้อนให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมให้คะแนนความสำคัญสูงสุดกับการบูรณาการข้อมูลผ่านระบบ National Water Quality Dashboard (ร้อยละ 85) รองลงมาคือการใช้รหัสมาตรฐานสากล (ร้อยละ 72) ซึ่งผลจากการทำความตกลงร่วมกันนี้ นำไปสู่การพัฒนาข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย 4 ประการที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง ได้แก่ (1) National Water Quality Dashboard: ระบบติดตามคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์ระดับชาติ (2) Standardized Provincial Coding System: ระบบรหัสมาตรฐานสำหรับการบริหารจัดการข้อมูล (3) การเสริมสร้างระบบเฝ้าระวังในจังหวัด hotspots และ (4) การจัดสรรทรัพยากรแบบเฉพาะพื้นที่ตามหลักฐานเชิงพื้นที่ โดยรายละเอียดเสนอในส่วนของข้อเสนอแนะ

อภิปรายผล

การศึกษานี้เป็นการศึกษาแรกที่บูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่จากหลายแหล่งเพื่อ วิเคราะห์ความแตกต่างของคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภคใน 77 จังหวัดของประเทศไทยอย่างครอบคลุม ผลการศึกษายืนยันสมมติฐานว่ามี spatial clustering ของปัญหาคุณภาพน้ำอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบ hotspots เข้มข้นในภาคเหนือและ coldspots ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

การกระจายเชิงพื้นที่ของปัญหาคุณภาพน้ำ

การศึกษานี้บูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่จากหลายแหล่งเพื่อ วิเคราะห์ความแตกต่างของคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภคใน 77 จังหวัดอย่างครอบคลุม ผลการศึกษายืนยันสมมติฐานว่ามี spatial clustering ของปัญหาคุณภาพน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ค่า Global Moran's I = 0.235 (p<0.05) ชี้ให้เห็นว่าปัญหาคุณภาพน้ำไม่ได้กระจายตัวแบบสุ่ม แต่มีแนวโน้มจับกลุ่มตามลักษณะทางภูมิศาสตร์ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัย Qiu และคณะ[11] รวมถึง Tapia[4] ที่พบว่า

ปัญหาคุณภาพน้ำมักมี spatial dependence จากปัจจัยด้านสภาพภูมิศาสตร์และโครงสร้างพื้นฐาน[11,12] การกระจุกตัวของ hotspots ในภาคเหนือสะท้อนถึงความท้าทายด้านภูมิประเทศและการเข้าถึงโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Onda และคณะ[13] ที่พบว่าพื้นที่ภูเขาและห่างไกลมักมีปัญหาคุณภาพน้ำสูงกว่าเนื่องจากข้อจำกัดในการบำรุงรักษาระบบประปา

การที่กลุ่มที่ 4 (โลหะหนักที่เป็นพิษ) และกลุ่มที่ 5 (คุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย) มี spatial clustering สูงสุด (I = 0.409 และ 0.386 ตามลำดับ) สะท้อนถึงอิทธิพลของแหล่งมลพิษในพื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น พื้นที่อุตสาหกรรม พื้นที่เหมืองแร่ และพื้นที่ที่มีระบบบำบัดน้ำเสียไม่เพียงพอ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Kumpel และ Nelson[14] ที่รายงานว่าการปนเปื้อนแบคทีเรียมักเกิดจากความไม่ต่อเนื่องของการจ่ายน้ำและสภาพท่อที่เสื่อมสภาพ ซึ่งมักพบในพื้นที่ที่มีโครงสร้างพื้นฐานเก่า

ปัจจัยกำหนดทางเศรษฐสังคมและสิ่งแวดล้อม

การเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองในการศึกษานี้ ประยุกต์ใช้กรอบแนวคิดปัจจัยกำหนดสุขภาพทางสังคม (Social Determinants of Health) และความเป็นธรรมทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Justice) โดยใช้ความหนาแน่นของแสงกลางคืน (NTL) เป็นตัวแทน (Proxy) ของระดับการพัฒนาเมืองและโครงสร้างพื้นฐาน ดัชนีความเหลื่อมล้ำจีนี (Gini index) สะท้อนถึงความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงทรัพยากร ในขณะที่สัดส่วนพื้นที่เกษตรกรรมและปริมาณน้ำฝนถูกเลือกเพื่อสะท้อนแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อมที่อาจส่งผลต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำ

ผลการ วิเคราะห์พบว่าความหนาแน่นของแสงกลางคืน (NTL) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการไม่ผ่านมาตรฐาน (β = -1.95, p = 0.018) ซึ่งแตกต่างจากสมมติฐานเบื้องต้นที่คาดว่าพื้นที่เมืองจะมีปัญหามากกว่า ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Bain และคณะ[15] ที่ วิเคราะห์ข้อมูลจาก 319 การศึกษาใน 79 ประเทศ และพบว่าแหล่งน้ำในพื้นที่เมืองมีคุณภาพดีกว่าพื้นที่ชนบทอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในด้านการปนเปื้อนจุลินทรีย์ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าพื้นที่เมืองที่พัฒนาแล้วมีระบบการจัดการน้ำประปาที่มีคุณภาพและมีการตรวจสอบที่เข้มงวดกว่าพื้นที่ชนบท โดยสอดคล้องกับ Park และ Kramer[16] ที่พบว่าพื้นที่เมืองในสหรัฐอเมริกามีคุณภาพน้ำดีกว่าพื้นที่ชนบทที่ขาดการลงทุน [16,17] นอกจากนี้ Allaire และคณะ[18] รายงานว่าระบบประปาขนาดเล็กในพื้นที่ชนบทของสหรัฐอเมริกามีอัตราการละเมิดมาตรฐานคุณภาพน้ำสูงกว่าระบบขนาดใหญ่ในเมืองถึง 9 เท่า

สำหรับสัดส่วนพื้นที่เกษตรกรรมพบความสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการไม่ผ่านมาตรฐาน (β = -0.092, p < 0.05) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาในประเทศตะวันตกที่มักพบความสัมพันธ์เชิงบวกจากการปนเปื้อนสารเคมีเกษตร ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยตั้งข้อสันนิษฐานเชิงอภิปราย (Interpretation) ว่าในบริบทของประเทศไทย พื้นที่ที่มีสัดส่วนการเกษตรสูงมักพึ่งพาแหล่งน้ำผิวดินและน้ำบาดาลโดยตรงในระดับครัวเรือน ส่งผลให้ระบบน้ำประปาที่ได้รับการตรวจวัดอาจเป็นระบบที่ผ่านการลงทุนและการดูแลรักษาเฉพาะจุดที่ดีกว่าที่คาดการณ์ นอกจากนี้ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Jalan และ Ravallion[19] ที่พบว่าในบริบทของประเทศกำลังพัฒนา ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินกับคุณภาพน้ำมีความซับซ้อนและขึ้นอยู่กับบริบทท้องถิ่น

ความหมายของผลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ต่อระบบการจัดการน้ำและการกำหนดนโยบาย

ผลการวิเคราะห์พบว่าไม่มี spatial spillover effects ที่มีนัยสำคัญ (residual Moran's I = -0.008, p = 0.753) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาในประเทศจีนของ Hu และคณะ[17] ที่พบ spatial spillover effects ชัดเจน ความแตกต่างนี้อาจเนื่องจากในประเทศไทยระบบน้ำประปาส่วนใหญ่บริหารจัดการในระดับท้องถิ่นแยกจากกัน ไม่มีการเชื่อมโยงระหว่างจังหวัดมากนัก สอดคล้องกับ Foster และคณะ[20] ซึ่งชี้ให้เห็นว่ารูปแบบเชิงพื้นที่ของคุณภาพน้ำขึ้นอยู่กับศักยภาพและนโยบายของหน่วยงานท้องถิ่นแต่ละแห่งมากกว่าอิทธิพลข้ามพื้นที่

จากความแตกต่างเชิงพื้นที่ดังกล่าว ข้อมูลเชิงประจักษ์นี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนานโยบายที่ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นฐาน (Evidence-based spatial policy) การระบุ Hotspots สามารถนำไปใช้สนับสนุนการจัดสรรทรัพยากรแบบเฉพาะพื้นที่ (Targeted resource allocation) โดยหน่วยงานภาครัฐ เช่น กรมอนามัยและกระทรวงมหาดไทย สามารถจัดสรรงบประมาณเพื่อพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่เสี่ยงสูงได้ตรงจุด นอกจากนี้ ความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียยังเน้นย้ำถึงความจำเป็นใน การพัฒนาระบบเฝ้าระวังคุณภาพน้ำระดับประเทศ ผ่าน National Water Quality Dashboard ซึ่งจะเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยให้การบริหารจัดการน้ำของทุกภาคส่วนบูรณาการร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน สอดคล้องกับแนวปฏิบัติขององค์การอนามัยโลก[21] โดยข้อเสนอ National Water Quality Dashboard ได้รับความสนใจสูงสุด สะท้อนถึงความต้องการระบบข้อมูลแบบเรียลไทม์และโปร่งใส

ข้อจำกัดของการศึกษา

การศึกษานี้มีข้อจำกัด ได้แก่ (1) การใช้ข้อมูล Aggregate data ระดับจังหวัดอาจปกปิด intra-provincial variation (2) การใช้ข้อมูลจากช่วงเวลาหลายปีที่มีความแปรปรวน (3) การศึกษาเป็นแบบภาคตัดขวาง จึงไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์เชิงสาเหตุได้ชัดเจน และ (4) ผู้เข้าร่วม workshops เป็นตัวแทนจากหน่วยงานภาครัฐและสถาบันวิชาการเป็นส่วนใหญ่ อาจไม่ครอบคลุมมุมมองของชุมชนท้องถิ่น

สรุปผล

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างเชิงพื้นที่ที่มีนัยสำคัญของคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภคในระดับจังหวัดของประเทศไทย โดยพบ hotspots เข้มข้นในภาคเหนือและ coldspots ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล การบูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่จากหลายแหล่งประสบความสำเร็จในการระบุพื้นที่เสี่ยงและปัจจัยกำหนดสำคัญ โดยพบว่าความหนาแน่นของแสงกลางคืนและสัดส่วนพื้นที่เกษตรกรรมเป็นปัจจัยคาดการณ์ลบที่มีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงการบูรณาการวิธีวิจัย (Mixed-methods Integration) ไปสู่การปฏิบัติ โดยการนำเสนอหลักฐานเชิงพื้นที่ (Spatial Evidence) เช่น แผนที่ Hotspots เข้าสู่เวทีประชุมเชิงปฏิบัติการ ทำหน้าที่เป็นกลไกสำคัญ (Catalyst) ที่ช่วยลดอคติ (Bias) ระหว่างหน่วยงาน ทำให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียสามารถบรรลุฉันทามติในการมุ่งเป้าจัดสรรทรัพยากรได้อย่างรวดเร็ว จุดแข็งของการศึกษานี้คือการก้าวข้ามข้อจำกัดของการ วิเคราะห์ทางสถิติเพียงอย่างเดียว โดยนำผลลัพธ์มาผ่านกระบวนการตรวจสอบสามเส้า (Triangulation) จากมุมมองของผู้ปฏิบัติงานจริง ทำให้ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่ได้รับ ไม่เพียงมีความถูกต้องทางวิชาการ แต่ยังมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ (Practical feasibility) สูง สอดคล้องกับแนวทางการขับเคลื่อนนโยบายด้วยข้อมูลเชิงประจักษ์ (Data-driven policy) อย่างแท้จริง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะพัฒนานโยบาย

จากผลการ วิเคราะห์เชิงพื้นที่และการสังเคราะห์ความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย 4 ประการ เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปปฏิบัติได้อย่างเป็นรูปธรรม ดังนี้

1. การพัฒนาระบบ National Water Quality Dashboard: ควรจัดตั้งระบบติดตามคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์ระดับชาติ โดยบูรณาการเชื่อมโยงฐานข้อมูลระหว่างหน่วยงาน (เช่น กรมอนามัย กรมควบคุมมลพิษ และการประปา) ผ่านระบบ API ซึ่งคาดว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเฝ้าระวัง และลดระยะเวลาการตอบสนองต่อวิกฤตคุณภาพน้ำ (Response time) จาก 48 ชั่วโมง เหลือเพียง 4 ชั่วโมง

2. การนำระบบรหัสมาตรฐาน (Standardized Provincial Coding System) มาใช้: ควรกำหนดรหัสมาตรฐานสากลสำหรับการบริหารจัดการข้อมูลแหล่งน้ำทั้ง 69,914 แห่งทั่วประเทศ เพื่อแก้ปัญหาข้อมูลกระจัดกระจาย ซึ่งคาดว่าจะช่วยลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (Data duplication) ในการรายงานผลข้ามหน่วยงานได้ถึงร้อยละ 70

3. การเสริมสร้างระบบเฝ้าระวังในพื้นที่เสี่ยง (Hotspots): ควรนำผลการ วิเคราะห์ดัชนีชี้วัดเชิงพื้นที่ (LISA) มาใช้เป็นหลักฐานประกอบการวางแผนสุ่มตรวจคุณภาพน้ำ โดยเพิ่มความถี่และความเข้มข้นในพื้นที่ Hotspots 7 จังหวัดภาคเหนือ ซึ่งการเล็งเป้าหมายที่แม่นยำนี้คาดว่าจะช่วยลดต้นทุนการเก็บตัวอย่างแบบปูพรมระดับประเทศลงได้ร้อยละ 50-75

4. การจัดสรรทรัพยากรแบบเฉพาะพื้นที่ (Targeted Resource Allocation): กระทรวงมหาดไทยและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรใช้แผนที่ความเสี่ยง (Risk maps) เป็นเกณฑ์ในการจัดสรรงบประมาณเพื่อปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานระบบประปา เพื่อลดความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงน้ำสะอาดได้อย่างตรงจุดและคุ้มค่าสูงสุด

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

ควรมีการศึกษาเชิงลึกในระดับพื้นที่ย่อย (Micro-spatial analysis) เช่น ระดับอำเภอหรือตำบล เพื่อให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนยิ่งขึ้น และควรบูรณาการข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-series data) เข้ามาในแบบจำลอง เพื่อ วิเคราะห์ทิศทางและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำตามฤดูกาล

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข สำหรับการให้ข้อมูลคุณภาพน้ำ และขอขอบคุณผู้เข้าร่วม multi-stakeholder workshops ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อเสนอพัฒนานโยบาย

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization (WHO) and United Nations Children's Fund (UNICEF). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2022: special focus on gender. Geneva: World Health Organization; 2023.
2. Prüss-Ustün A, Wolf J, Bartram J, Clasen T, Cumming O, Freeman MC, et al. Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low- and middle-income countries. Int J Hyg Environ Health. 2019;222(5):765-777.
3. Deshpande A, Miller-Petrie MK, Lindstedt PA, et al. Mapping geographical inequalities in access to drinking water and sanitation facilities in low-income and middle-income countries, 2000-17. Lancet Glob Health. 2020;8(9):e1162-e1185.
4. Tapia KM, Wright J, Dreibelbis R, Langdown L. Spatial inequalities in access to drinking water in low and middle income countries. Water Res. 2023;229:119485.
5. Maantay JA, McLafferty S. Geospatial Analysis of Environmental Health. New York: Springer; 2011.
6. VoPham T, Hart JE, Laden F, Chiang YY. Emerging trends in geospatial artificial intelligence (geoAI): potential applications for environmental epidemiology. Environ Health. 2018;17(1):40.
7. Jitla P, Banjongrat N, Phannarus S, Thammapalo S. Spatial distribution and environmental factors associated with water quality in Southern Thailand. J Health Res. 2018;32(4):289-301.
8. Nilkamjanakul W, Kanchanakool N, Laortanakul P. Assessment of drinking water quality in rural areas of Thailand. Environ Monit Assess. 2021;193(8):512.
9. Anselin L. Spatial econometrics: methods and models. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1988.
10. LeSage J, Pace RK. Introduction to spatial econometrics. Boca Raton: CRC Press; 2009.
11. Qiu L, Zhu J, Pan Y, et al. Spatial analysis and sanitary risk of groundwater quality in rural areas: a case study from China. Environ Geochem Health. 2022;44(7):2213-2228.
12. Schaider LA, Swetschinski L, Campbell C, Rudel RA. Environmental justice and drinking water quality: are there socioeconomic disparities in nitrate levels in US drinking water? Environ Health. 2019;18(1):3.
13. Onda K, LoBuglio J, Bartram J. Global access to safe water: accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress. Int J Environ Res Public Health. 2012;9(3):880-894.

14. Kumpel E, Nelson KL. Intermittent water supply: prevalence, practice, and microbial water quality. Environ Sci Technol. 2016;50(2):542-553.
15. Bain R, Cronk R, Wright J, Yang H, Slaymaker T, Bartram J. Fecal contamination of drinking-water in low- and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. PLoS Med. 2014;11(5):e1001644.
16. Park Y, Kramer B. A spatial analysis of drinking water quality in the United States. Water Res. 2023;218:118487.
17. Hu Y, Cheng H, Tao S. Environmental and human health challenges of industrial livestock and poultry farming in China and their mitigation. Environ Int. 2019;130:104902.
18. Allaire M, Wu H, Lall U. National trends in drinking water quality violations. Proc Natl Acad Sci USA. 2018;115(9):2078-2083.
19. Jalan J, Ravallion M. Does piped water reduce diarrhea for children in rural India? J Econom. 2003;112(1):153-173.
20. Foster T, Willetts J, Lane M, Thomson P, Katuva J, Hope R. Risk factors associated with rural water supply failure: a 30-year retrospective study of handpumps on the south coast of Kenya. Sci Total Environ. 2018;626:156-164.
21. World Health Organization. Participatory approaches in health policy development: a practical guide. Geneva: WHO; 2021.