

## หลักการเพอร์มีที่ใช้ตอบโจทย์วิทยาศาสตร์ได้อย่างรวดเร็วและดีพอประมาณ

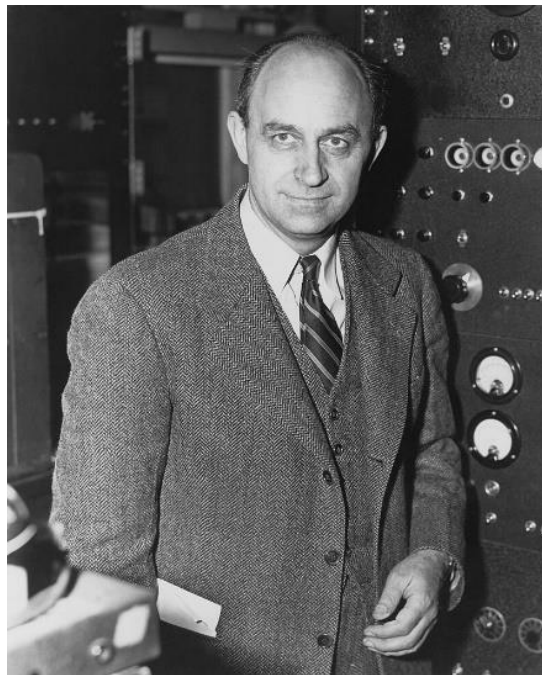
สุทัศน์ ยกส้าน<sup>๑,๒</sup>

<sup>๑</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

<sup>๒</sup>ราชบัณฑิต สาขาฟิสิกส์และดาราศาสตร์ ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ ราชบัณฑิตยสภา

### บทนำ

ความชำนาญอย่างหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญมาก ในการทำให้ได้ชื่อว่าเป็นคนเข้าใจวิทยาศาสตร์ คือความสามารถหาคำตอบเชิงปริมาณของโจทย์วิทยาศาสตร์ได้ดีพอประมาณ ทั้ง ๆ ที่โจทย์ไม่ได้ให้ข้อมูลใด ๆ เลย และให้ใช้เวลาตอบไม่นาน โดยใช้กระดาษเพียงแผ่นเดียวในการคำนวณหาคำตอบก็เพียงพอสำหรับการสรุปว่า คำตอบที่ได้เป็นไปได้และสมเหตุสมผลหรือไม่ บุคคลผู้บุกเบิกศิลปะการแก้ปัญหาที่ดูเสมือนว่าไม่มีใครในโลกสามารถจะตอบโจทย์ได้คือ นักฟิสิกส์ชื่อ เอนรีโก เฟอร์มี



ภาพที่ ๑ เอนรีโก เฟอร์มี (Enrico Fermi, FRS) (ค.ศ. ๑๙๐๑-๑๙๕๔)

(ที่มา: [https://en.wikipedia.org/wiki/Enrico\\_Fermi](https://en.wikipedia.org/wiki/Enrico_Fermi))

โลกรู้จักเอนรีโก เฟอร์มี ว่าเป็นนักฟิสิกส์ชาวอิตาลี ผู้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ประจำปี ค.ศ. ๑๙๓๘ จากผลงานการสร้างธาตุกัมมันตรังสีประดิษฐ์ ด้วยการใช้อุณหภูมิที่เร็วต่ำยิ่งนิวเคลียสของธาตุ

ต่าง ๆ ทำให้ได้นิวเคลียสใหม่ที่ปลดปล่อยอนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา และ รังสีแกมมาออกมา ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ การทำเกษตรกรรม และการสร้างผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้จะเป็นนักทดลองที่มีความสามารถสูงมากแล้ว เฟอร์มียังเป็นนักทฤษฎีอัจฉริยะที่ได้เสนอทฤษฎีการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีที่ให้อนุภาคบีตาด้วย ทฤษฎีนี้ได้ทำให้โลกรู้ว่า เอกภพของเรายังมีอันตรกิริยาอีกรูปแบบหนึ่งคือ อันตรกิริยาอย่างอ่อน (weak interaction)

แต่เฟอร์มีที่คนทั่วไปรู้จักดีที่สุดเป็นนักฟิสิกส์ผู้ออกแบบและสร้างเตาปฏิกรณ์ปรมาณูเตาแรกของโลกได้สำเร็จที่มหาวิทยาลัยชิคาโก ในสหรัฐอเมริกา ครั้นเมื่อเฟอร์มีสามารถบังคับและควบคุมการทำงานของเตาปฏิกรณ์ปรมาณูได้อย่างปลอดภัย ในวันที่ ๒ ธันวาคม ค.ศ. ๑๙๔๒ เขาก็ได้รับเชิญจาก จูเลียส โรเบิร์ต ออปเพนไฮเมอร์ (Julius Robert Oppenheimer) ให้เข้าร่วมทำงานในโครงการแมนฮัตตัน (Manhattan) เพื่อผลิตระเบิดปรมาณูที่ ลอส อลามอส (Los Alamos) ในสหรัฐอเมริกาทันที

โครงการแมนฮัตตันเพื่อผลิตระเบิดปรมาณูสำหรับใช้ยุติสงครามโลกครั้งที่สองได้ประสบความสำเร็จในการทดสอบสมรรถภาพเป็นครั้งแรกเมื่อวันที่ ๑๖ กรกฎาคม ค.ศ. ๑๙๔๕ และได้ประสบความสำเร็จในการใช้งานจริงเมื่อวันที่ ๖ สิงหาคม ค.ศ. ๑๙๔๕ เมื่อลูกระเบิดชื่อ “Little Boy” ได้ถูกทิ้งลงจากเครื่องบิน B-๒๙ ชื่อ Enola gay ให้ทำลายเมืองฮิโรชิมา (Hiroshima) ของญี่ปุ่นจนราบเรียบ

หลังจากที่สงครามโลกครั้งที่ ๒ ยุติ เฟอร์มีได้กลับไปทำงานวิจัยต่อที่มหาวิทยาลัยชิคาโก และสนใจปัญหาเรื่องการกำเนิดของรังสีคอสมิกและเรื่องธรรมชาติของอนุภาคมูลฐานชนิดต่าง ๆ ที่นักฟิสิกส์ได้พบใหม่เป็นจำนวนมาก

เฟอร์มีเสียชีวิตใน ค.ศ. ๑๙๕๔ ที่ชิคาโก สิริอายุ ๕๔ ปี และได้ทิ้งมรดกทางความรู้ไว้มากมาย เช่น ชื่อเฟอร์มีได้ถูกนำไปตั้งเป็นชื่อหน่วยวัดความยาวว่า เฟมโตเมตร (femtometer) ซึ่งมีค่า  $10^{-15}$  เมตร เฟมโตวินาที (femtosecond) ซึ่งเป็นหน่วยของเวลาที่นาน  $10^{-15}$  วินาที เฟมโตกรัมซึ่งเป็นหน่วยของมวลที่มีค่า  $10^{-15}$  กรัม นอกจากนี้ก็มีหน่วยอายุเฟอร์มี (Fermi age) ซึ่งสามารถบอกระยะทางที่อนุภาคนิวตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในแกรไฟต์ ก่อนที่ความเร็วจะลดลงเหลือ ๓๗% ของความเร็วเดิม เพราะระยะทางขึ้นอยู่กับเวลาครึ่งชีวิตของนิวตรอน

ความสามารถพิเศษของเฟอร์มีอีกด้านหนึ่งที่ทำให้ใครมาเทียบเคียงได้ยาก คือการรู้จักตั้งคำถามวิทยาศาสตร์ที่เป็นโจทย์สั้น ๆ และเป็นคำถามปลายเปิด โดยที่โจทย์ไม่ได้กำหนดรายละเอียดใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหามาให้เลย ดังนั้น คนที่จะตอบโจทย์ก็ต้องคิดหาวิธีตอบ โดยการตั้งสมมุติฐานและเสนอข้อมูลต่าง ๆ ขึ้นมาเองแล้วคำนวณ โดยต้องใช้เวลาไม่นานและใช้กระดาษเพียง ๑ หน้า ในการตอบคำถามนั้น เราจึงอาจจะเรียกโจทย์เฟอร์มีว่าเป็น “โจทย์วิทย์ที่คิดไม่นาน” ก็ได้

ตัวอย่างโจทย์เฟอร์มี เช่น มีคำถามว่า “ร่างกายคนเรามีเซลล์กี่เซลล์” “กาแล็กซีทางช้างเผือกมีอารยธรรมต่างดาวกี่อารยธรรม” “ในรถยนต์คันหนึ่งจะสามารถมีคนเข้าไปแออัดยัดเยียดได้มากที่สุดกี่คน” “โลกมีเส้น

รอบวงยาวเท่าใด” “เวลาที่น้ำตกจากเขื่อน อุณหภูมิของน้ำที่สันเขื่อนจะต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำที่ฐานเขื่อนเพียงใด”

โจทย์ลักษณะนี้มีชื่อเรียกเป็นทางการว่าโจทย์เฟอร์มี (Fermi problem หรือ Fermi quiz) ซึ่งมักทำให้คนที่ถูกถามมีความรู้สึกท้อแท้ในเบื้องต้น เพราะไม่ทราบว่าจะเริ่มต้นแก้ปัญหาอย่างไร จะใช้วิธีใด และจะไปต่ออย่างไร เนื่องจากคนตอบมักรู้สึกว่โจทย์มีได้ให้รายละเอียดหรือข้อมูลใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโจทย์เลย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะโจทย์คาดหวังจะให้คนตอบหาข้อมูลต่าง ๆ ด้วยตนเอง ตั้งสมมุติฐานต่าง ๆ เอง โดยห้ามถาม Google, ChatGPT หรือ AI (Artificial Intelligence) แล้วคำนวณตามแบบจำลองที่ตนมีจินตนาการสร้างขึ้นเอง

โจทย์เฟอร์มีจึงมีใช้ข้อสอบธรรมดาที่ครูใช้สอบในโรงเรียนหรือในมหาวิทยาลัย แต่อาจจะเป็นคำถามที่ใช้ในการสอบสัมภาษณ์ ชิงทุนการศึกษา หรือสมัครงาน เพราะคนถามต้องการจะรู้วิธีคิดของคนตอบ และต้องการดูความคิดสร้างสรรค์ของคนตอบ ซึ่งอาจจะเป็นแนวคิดต้นแบบที่ไม่มีใครเหมือน และคำตอบที่ได้ก็ไม่เน้นความถูกต้องอย่างละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่สาม แต่เน้นความถูกต้องระดับขนาด ซึ่งอาจจะแตกต่างกับคำตอบที่แม่นยำเพียงไม่กี่เท่า (คือไม่ถึง ๑๐๐ เท่า หรือ ๑,๐๐๐ เท่า) และเน้นเทคนิคการคำนวณอย่างง่าย ๆ เช่นให้  $\pi$  มีค่าเท่ากับ ๓ และ ๑ วันนาน ๒๕ ชั่วโมง (เพราะ ๒๕ เท่ากับ ๑๐๐/๔) ซึ่งคำนวณง่ายกว่า แทนที่จะเป็น ๓.๑๔๑๕๙๒๖ และ ๒๔ ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวเลขที่คำนวณยาก และต้องใช้เวลาคิดนานด้วย

การประเมินค่าต่าง ๆ อย่างคร่าว ๆ จึงได้ค่าที่เกินไปบ้าง หรือขาดไปบ้าง แต่โดยเฉลี่ยในภาพรวมทั้งหมด คำตอบที่ได้จะให้ค่าที่เบี่ยงเบนไปจากคำตอบที่แท้จริงไม่มาก

ตัวอย่างการตอบโจทย์เฟอร์มีที่เป็นตำนานเล่าขานกันมาจนกระทั่งถึงทุกวันนี้ เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเวลา ๕.๒๙ นาฬิกาของเช้ามีดวันจันทร์ที่ ๑๖ กรกฎาคม ค.ศ. ๑๙๔๕ ในทะเลทรายที่อยู่ห่างจากเมืองแอลโมกอร์โด (Alamogordo) ในรัฐ New Mexico ของสหรัฐอเมริกา เป็นระยะทางประมาณ ๑๐๐ กิโลเมตร ที่นั้นมีคณะนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรผู้สร้างระเบิดปรมาณูจำนวนประมาณ ๒๐๐ คน มาเฝ้าดูการทดลองระเบิดอย่างใจจดใจจ่อ ครั้นเมื่อถึงเวลาที่กำหนด สายตาของทุกคนที่ยืนอยู่ห่างจากตำแหน่งที่ระเบิดปรมาณูจะระเบิดก็ให้เห็นควันและฝุ่นรูปดอกเห็ดขนาดใหญ่ ลอยตัวขึ้นสู่ท้องฟ้า เห็นเปลวไฟและได้ยินเสียงระเบิดดังกึกก้อง อีก ๔๐ วินาทีต่อมา คลื่นกระแทกได้เดินทางถึงกลุ่มผู้สังเกตการณ์ที่มีเฟอร์มีเป็นสมาชิกคนหนึ่งด้วย

แต่ก่อนที่ระเบิดปรมาณูจะระเบิดเพียงเล็กน้อย เฟอร์มีได้ฉีกกระดาศออกจากสมุดบันทึกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยแล้วกำเศษกระดาศไว้ในมือ ทันทีที่กระแสมจากคลื่นกระแทกเดินทางถึงตัวเขา เฟอร์มีก็ชูมือขึ้นเหนือศีรษะแล้วปล่อยเศษกระดาศให้ปลิวตามลมไปจนตกห่างจากตำแหน่งที่เขายืนเป็นระยะทาง ๒.๓๐ เมตร

จากข้อมูลระยะทางที่เศษกระดาศปลิวไปตก เวลาที่ตก ระยะทางที่เฟอร์มียืนห่างจากตำแหน่งลูกระเบิดลง เวลาที่คลื่นกระแทกเดินทางถึงตัวเขา และข้อมูลความดันและอุณหภูมิของอากาศ ณ เวลานั้น เฟอร์มีได้คำนวณอย่างคร่าว ๆ โดยใช้เวลาเพียงไม่กี่นาทีและพบว่า พลังงานที่ระเบิดปรมาณูลูกนั้นปลดปล่อยออกมา มีค่าเทียบเท่าดินระเบิดที่หนัก ๑๐,๐๐๐ ตัน

ตัวเลขที่ได้นี้ มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง ๒๓,๐๐๐ ตัน (คำตอบจึงถูกต้องในระดับขนาด)

การใช้สูตรฟิสิกส์ที่ซับซ้อนและยุ่งยากในการคำนวณ โดยใช้คอมพิวเตอร์ในเวลาต่อมา ต้องใช้เวลานานถึง ๒ สัปดาห์

ตัวอย่างโจทย์แฟร์มีที่น่าสนใจมีอีกมากมาย เช่น คำถามว่า “กรณีคนสูบบุหรี่ที่เป็นมะเร็งปอด ชีวิตเขาจะสั้นสุดภายในเวลากี่ปี”

ในการตอบคำถามนี้ ทันทีที่เห็นโจทย์ หลายคนคงนึกถึงรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับโรคร้าย เช่น เป็นมะเร็งชนิดใด ที่อวัยวะใด เขาใช้ชีวิตอย่างไร คนคนนั้นเป็นผู้หญิงหรือผู้ชาย บรรพบุรุษของเขาเคยเป็นมะเร็งหรือไม่ ฯลฯ แต่การตอบคำถามนี้ตามแบบแฟร์มีอาศัยความรู้รอบตัวที่ว่า คนที่สูบบุหรี่จัดมักเป็นมะเร็งปอดและอาการของโรคมักสำแดงเมื่อมีอายุตั้งแต่ ๕๐ ปีขึ้นไป เพราะอายุโดยเฉลี่ยของคนมีค่าประมาณ ๘๐ ปี ดังนั้น เขาจะทนทุกข์โรคมะเร็งเป็นเวลานานไม่เกิน ๓๐ ปี ด้วยเหตุนี้ จำนวนปีที่คนเป็นมะเร็งจะมีชีวิตต่อไปจึงอยู่ระหว่าง ๑ ปี ถึง ๓๐ ปี นั่นคือ ชีตจำกัดล่างของอายุส่วนเกินจึงมีค่าเท่ากับ ๑ ปี และชีตจำกัดบนมีค่าเท่ากับ ๓๐ ปี

ตัวกลางเรขาคณิตของระยะเวลาที่คนเป็นมะเร็งจะมีชีวิตอยู่ต่อไปจึงมีค่า  $\sqrt{(๑ \times ๓๐)} = \sqrt{๓๐} = ๕.๕$  ปี ตัวเลขนี้แสดงว่า คนสูบบุหรี่จะเสียชีวิตก่อนคนที่ไม่สูบบุหรี่ประมาณ ๕.๕ ปี ซึ่งใกล้เคียงกับตัวเลขจริง ๖.๕ ปี นั่นคือ คนสูบบุหรี่จะเสียชีวิตโดยเฉลี่ยเมื่ออายุไม่เกิน ๕๖ ปี

ความถูกต้องของการใช้ค่าเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตสะท้อนให้เห็นความจริงที่ว่า ตามปกติเรามักจะรู้ขอบเขตบนและขอบเขตล่างของคำตอบ ซึ่งมักจะแตกต่างกันในเป็นระดับ ๑๐, ๑๐๐, ๑,๐๐๐, .... เท่า

เทคนิคเดียวกันนี้สามารถนำไปใช้ตอบคำถามที่ว่า “ในรถยนต์คันหนึ่งจะมีคนเข้าไปแออัดยัดเยียดได้กี่คน”

คำตอบโดยประมาณมีค่ามากกว่า ๑ คน และไม่น่าจะเกิน ๑๐๐ คน ชีตจำกัดล่างและชีตจำกัดบนจึงเป็น ๑ กับ ๑๐๐ ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของคำตอบนี้จะให้ค่า  $\sqrt{๑๐๐} = ๑๐$  คน ซึ่งดูสมเหตุสมผล

การคำนวณค่าโดยประมาณโดยใช้ตัวกลางเรขาคณิตจึงเป็นเทคนิคสำคัญที่ใช้ในการหาคำตอบแบบแฟร์มีเพื่อจะได้คำตอบอย่างรวดเร็ว โดยเน้นระดับขนาดของคำตอบเป็นสำคัญ

สำหรับคำถามแบบแฟร์มีที่ว่า “ร่างกายคนมีเซลล์กี่เซลล์” นั้น ในการตอบคำถามนี้ ความรู้ทางชีววิทยาแสดงว่า เซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีขนาดตั้งแต่  $๑๐^{-๔}$  เมตร ถึง  $๑๐^{-๖}$  เมตร ดังนั้น โดยเฉลี่ยขนาดของเซลล์จึงมีค่าเป็นตัวกลางเรขาคณิตเท่ากับ  $๑๐^{-๕}$  เมตร ปริมาตรของเซลล์จึงมีค่า  $๑๐^{-๑๕}$  ลูกบาศก์เมตร สมมติให้คนมีมวล ๑๐๐ กิโลกรัม และให้ความหนาแน่นของกระดูกกับเลือดในร่างกายมีค่าเท่ากับความหนาแน่นของน้ำ คือ ๑,๐๐๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เราก็จะได้ปริมาตรของคนจาก มวล/ความหนาแน่น ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $๑๐๐/๑,๐๐๐ = ๑/๑๐$  กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ด้วยเหตุนี้ จำนวนเซลล์ในร่างกายคนจึงมีค่าประมาณ  $(๑/๑๐)/๑๐^{-๑๕} = ๑๐^{๑๔}$  เซลล์ หรือประมาณ ๑๐๐ ล้านล้านเซลล์

## บทสรุป

เมื่อดูเผิน ๆ โจทย์แฟร์มีจะมีลักษณะเหมือนปัญหาลับสมองประลองเขาวงกต แต่โจทย์นี้แตกต่างกับโจทย์อื่น ๆ ตรงที่ว่า โจทย์นี้ต้องการคำตอบเชิงปริมาณอย่างคร่าว ๆ ในขณะที่โจทย์ลับสมองทั่วไปต้องการคำตอบแบบแม่นยำ และโจทย์ต้องบอกข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องมาให้ ดังนั้น โจทย์แฟร์มีจึงเหมาะแก่การใช้ทดสอบความเข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ มากกว่าจะนิยมใช้เป็นโจทย์คำนวณทางคณิตศาสตร์ การรู้วิธีแก้ปัญหา โจทย์แฟร์มีจึงเป็นการแนะนำคนที่เรียนวิทยาศาสตร์ให้รู้จักศิลปะในการหาคำตอบเพื่อช่วยในการดำรงชีวิตได้อย่างมั่นใจในระดับหนึ่ง

## บรรณานุกรม

Weinstein, L., & Adam, J. (2008). Guesstimation: Solving the World's Problems on the Back of a Cocktail Napkin. Princeton University Press.