



## ควอนตัมคอมพิวเตอร์

ธนาวุฒิ ประกอบผล\*

### บทคัดย่อ

จากหลักแห่งความไม่แน่นอนของเว็รเนอร์ ไฮเซนเบิร์ก (Werner Heisenberg) และ อัลกอริทึมของปีเตอร์ ชอร์ (Peter Shor) ได้นำมาสู่การสร้างควอนตัมคอมพิวเตอร์ที่มีคิวบิต (qubit) หรือควอนตัมบิตเป็นหน่วยแสดงผลข้อมูลได้สามสถานะคือ “0” หรือ “1” หรือ “0,1” ได้พร้อมกันในคราวเดียว โดยที่สถานะการแสดงผลแบบ “0,1” นี้เรียกในทางฟิสิกส์ว่า “superposition state” ขณะที่คอมพิวเตอร์ทั่วไปแสดงผลข้อมูลเป็นบิต (bit) ได้เพียงสองสถานะคือ “0” หรือ “1” ส่งผลให้ควอนตัมคอมพิวเตอร์มีศักยภาพในการประมวลผลสูงกว่าคอมพิวเตอร์ทั่วไปหรือซูเปอร์คอมพิวเตอร์ อันมีประโยชน์ในการคำนวณโจทย์คณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนและการเข้ารหัสลับ (encryption) เป็นต้น หัวใจสำคัญอีกอย่างหนึ่งของควอนตัมคอมพิวเตอร์คือ gate operation และ ion traps ซึ่งเหมือนกับการกระทำพื้นฐานทางตรรกศาสตร์ในการสร้างเกทรูปแบบต่างๆ เช่น AND gate OR gate และ XOR gate เป็นต้น พัฒนาการของควอนตัมคอมพิวเตอร์เป็นเรื่องที่น่าสนใจและยังคงดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง

**คำสำคัญ :** ควอนตัมคอมพิวเตอร์ คิวบิต

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นเทคโนโลยีของยุคปัจจุบันที่มีการพัฒนาเป็นอย่างมาก บางช่วงอาจมีข่าวทางด้านลบออกมาว่านาโนเทคโนโลยีเป็นเพียงแค่กระแสที่ไม่มี ความชัดเจนในการพัฒนา อย่างไรก็ตาม การพัฒนาของนาโนเทคโนโลยีเป็นที่น่าจับตามอง เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่หลากหลาย อีกทั้งกำลังมีการค้นคว้าวิจัยกันอย่างกว้างขวาง

เว็รเนอร์ ไฮเซนเบิร์ก (Werner Heisenberg) นักฟิสิกส์ที่มีชื่อเสียงผู้มียุทธศาสตร์สำคัญ

ต่อการพัฒนาทฤษฎีควอนตัม ได้นำเสนอหลักแห่งความไม่แน่นอน มีสาระสำคัญว่าสิ่งที่มีขนาดเล็ก ๆ เช่น อะตอม สามารถที่จะกระตุ้นให้มีสถานะพลังงานได้หลายระดับ และในขณะเดียวกันหากรู้ค่าโมเมนตัมที่แน่นอนอันหนึ่งแล้วจะพบว่า ตำแหน่งที่อยู่ของมันนั้นไม่เป็นแหล่งที่แน่นอน จากลักษณะของการมีพลังงานหลายระดับในเวลาเดียวกันของอะตอมนี้เองทำให้มีความเป็นไปได้ว่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์สำหรับการเข้ารหัสลับ (encryption) เพื่อการจัดการข้อมูลในคอมพิวเตอร์แบบใหม่เรียกว่า “ควอนตัมคอมพิวเตอร์”

\* อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ



เรื่องราวที่เกี่ยวข้องกับควอนตัมคอมพิวเตอร์นับว่าเป็นเรื่องที่แปลกมาก ทั้งที่เครื่องควอนตัมคอมพิวเตอร์ที่ประกอบสำเร็จแล้วมีอยู่ไม่มากนัก ทั่วไปแล้วเหมือนกับเป็นงานทดลองทางด้านเคมีมากกว่าจะเป็นงานทางด้านคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่ามันจะมีศักยภาพในการประมวลผลเร็วกว่าซูเปอร์คอมพิวเตอร์ หากว่าสัญญาณนาฬิกา (clock) ภายในของมันกลับช้าจนน่าแปลกใจคือไม่ถึง 100 รอบต่อวินาที ที่แย่มากที่สุดคงเป็นเรื่องของความไม่ใส่ใจในการพัฒนาควอนตัมคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง รอล์ฟ แลนด์อูเออร์ (Rolf Landauer) ได้กระตุ้นเพื่อน ๆ ที่ศูนย์วิจัยโทมัส เจ. วัตสัน (Thomas J. Watson) ของบริษัทไอบีเอ็มที่เมือง ยอร์คทาวน์ ไฮท์ (Yorktown Heights) ประเทศสหรัฐอเมริกาให้เริ่มโครงการพัฒนาควอนตัมคอมพิวเตอร์ซึ่งเดวิส ดีอัส (Davis Deutsch) นักฟิสิกส์แห่งมหาวิทยาลัยออกซฟอร์ด เป็นคนหนึ่งที่รับเรื่องไปดำเนินการ แต่เป็นที่น่าเสียดายว่าโครงการนี้ไม่คืบหน้าอยู่นานถึง 8 ปี

ปีเตอร์ ชอร์ (Peter Shor) นักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ของห้องปฏิบัติการของบริษัทเอทีแอนด์ทีเบลล์ (AT&T Bell) เป็นผู้เปิดประเด็นเรื่อง “การเคลื่อนที่อย่างเชื่อมโยงซ้ำแต่มีพลัง” ของควอนตัมคอมพิวเตอร์เมื่อปี ค.ศ. 1994 ว่าเป็นเครื่องมือสมบูรณ์แบบในการถอดรหัส เหตุผลก็คือเครื่องคอมพิวเตอร์ยุคใหม่อันทรงพลังมีความเร็วสูงแต่สามารถประมวลผลได้เพียงคราวละ 1 คำสั่งเท่านั้น ในขณะที่ควอนตัมคอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้ในปริมาณมากกว่าพร้อมกันในคราวเดียวกันด้วยความสามารถในการประมวลผลข้อมูลอันมหาศาลนี้ ทำให้มีนักวิจัยให้ความสนใจและได้เริ่มมีการทำ

วิจัยควอนตัมคอมพิวเตอร์กันอย่างจริงจังนับแต่นั้น เป็นต้นมา

### พฤติกรรมทางควอนตัม

พฤติกรรมอันน่าอัศจรรย์ของคิวบิต (qubit) ที่จะเก็บค่า 0 กับ 1 ไว้พร้อมกันนี้มาจากหลักการที่ว่าเมื่อใดก็ตามที่ระยะห่างน้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอะตอมเกิดขึ้น กฎทางฟิสิกส์ที่ใช้กับพฤติกรรมของอะตอมจะไม่สามารถนำมาปรับใช้ได้อีกต่อไป (Macchiavello, G. M. and Palma, A. Z : 2000) พฤติกรรมอนุภาคซึ่งเป็นส่วนย่อยของอะตอม (subatomic) ซึ่งเป็นคุณสมบัติในเชิงแม่เหล็กหรือที่รู้จักกันในชื่อ “สปิน” ซึ่งมี 2 ลักษณะคือ สปินขึ้นหรือสปินลง แต่ในคิวบิตการสปินขึ้นหรือสปินลงนั้นจะดำรงอยู่ร่วมกัน นักฟิสิกส์เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า superposition เช่นขณะที่เราใช้เครื่องตมกาแพ้นั้นกระแสไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน แต่ในกรณีของควอนตัมแล้วกระแสไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปทั้งสองทิศทางในเวลาเดียวกัน ปรากฏการณ์แบบนี้เกิดขึ้นในอุปกรณ์ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดหรือที่รู้จักกันในชื่อ SQUID (superconductor quantum interference device)

บริษัทไอบีเอ็มยักษ์ใหญ่แห่งวงการคอมพิวเตอร์เคยสาธิตเกี่ยวกับปรากฏการณ์ superposition ซึ่งถือได้ว่ามีความสำคัญมาก เพราะแสดงให้เห็นว่าเราอาจหลีกเลี่ยงกฎบางข้อในเรื่องอะตอมได้ ปรากฏการณ์ superposition จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อคิวบิตถูกแยกออกมาอย่างสมบูรณ์ นาบิล เอเมอร์ (Nabil Amer) นักฟิสิกส์คนหนึ่งของบริษัทไอบีเอ็มแถลงว่าทีมงานของเขาสามารถป้องกันไม่ให้ superposition ยุบตัวได้



โดยใช้คิวบิตปริมาณมหาศาล นั่นคือโมเลกุลจำนวน 1,000 ล้านล้านคิวบิตแทนการพิมพ์คำสั่งบนแป้นพิมพ์ (keyboard)

นาบิล เอเมอร์ (Nabil Amer) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการสปินของอะตอมในแต่ละโมเลกุล โดยให้อะตอมแยกตัวประกอบของตัวเลข 15 ออกมา ผลคือได้คำตอบ 3 กับ 5 ตัวเลข 2 ตัวนี้ถูกอ่านค่าออกมาจากการวัดพลังงานอันน้อยนิดที่อะตอมปล่อยออกมาและตรวจจับได้โดยใช้อุปกรณ์ที่มีชื่อย่อทางภาษาอังกฤษว่า NMR (nuclear magnetic resonance) เป็นเครื่องมือที่คล้ายคลึงกับเครื่องสแกนร่างผู้ป่วยในโรงพยาบาล แม้คำตอบที่ได้จะไม่ใช่เรื่องที่สำคัญ แต่การควบคุมการสปินทั้งหมดที่ไม่เคยทำได้มาก่อนได้ถูกนำเสนอโดยการทดลองครั้งนี้ ทำให้ปรากฏการณ์นี้กลายเป็นควอนตัมคอมพิวเตอร์ที่ซับซ้อนที่สุดเท่าที่เคยมีการทดลองมา

### ควอนตัมกับความเป็นจริง

เป้าหมายต่อไปคือการสร้างคิวบิตที่นำมาใช้กับชิป (chip) คอมพิวเตอร์ทั่วไป ทีมงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเดลฟท์ (Delft) ประเทศเนเธอร์แลนด์ และมหาวิทยาลัยนิวยอร์กแห่งสโตนีบรูค (Stony Brook) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ใช้ SQUID เข้ามาช่วย ต่อมานักวิทยาศาสตร์จากมหาวิทยาลัยเพอร์ดูเอ (Purdue) ประเทศสหรัฐอเมริกาได้หาทางเลือกใหม่โดยการเก็บกักอิเล็กตรอนไว้ในโครงสร้างที่เรียกว่า “หมุดควอนตัม” ซึ่งสามารถใช้เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (microelectronics) ซึ่งในปัจจุบันทำได้เช่นเดียวกับ SQUID ตัวแปรสำคัญในการวิจัยครั้งนี้คือหน่วยงานซึ่งดูแลความมั่นคงแห่งรัฐที่ฟอร์ทเมด

(Fort Meade) รัฐแมริแลนด์ ซึ่งปีเตอร์ ชอร์ (Peter Shor) แห่งบริษัทเอทีแอนด์ที เบลล์ (AT&T Bell) ได้แถลงในปี ค.ศ. 1994 ว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้เทคโนโลยีควอนตัมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการถอดรหัสที่องค์การ NASA ได้เคยพยายามทำไว้ในระดับเดียวกับที่โครงการแมนแฮตตันเคยสร้างระเบิดปรมาณูในสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง อย่างไรก็ตามประโยชน์สูงสุดของควอนตัมคอมพิวเตอร์นั้นอาจไม่มีอะไรเกี่ยวข้องกับการถอดรหัสเลยก็ได้ เดวิด ดอยท์ (David Doyt) แห่งมหาวิทยาลัยออกซฟอร์ด สหราชอาณาจักร ได้ย้ำเตือนในเรื่องของทฤษฎีควอนตัมว่าเครื่องมือทรงพลังที่ใช้หลักของควอนตัมคอมพิวเตอร์นี้ อาจช่วยให้เราเจาะเข้าไปในความจริงที่มีอยู่หลากหลายมิติได้เช่นเดียวกับการใช้กล้องโทรทรรศน์ที่ทำให้มนุษย์มองเห็นห้วงอวกาศนอกโลก และกล้องจุลทรรศน์ที่สามารถทำให้เห็นรายละเอียดของเซลล์ซึ่งตาของเราไม่สามารถมองเห็นได้

### กรรมวิธีของชอร์กับควอนตัมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 1 นักฟิสิกส์และนักคณิตศาสตร์กำลังคิดทฤษฎีทางด้านควอนตัมคอมพิวเตอร์



ปีเตอร์ ชอร์ (Peter Shor) แห่งบริษัท เอทีแอนด์ที (AT&T) เป็นผู้คิดค้นอัลกอริทึมชนิดหนึ่งขึ้นมาโดยตั้งชื่อว่ากรรมวิธีของชอร์ (Shor's algorithm) เป็นวิธีสำหรับการหา factoring แบบควอนตัม ซึ่งเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หาตัวเลขจำนวนเฉพาะที่นำมาคูณกันแล้วให้ได้ตัวเลขตามโจทย์ เช่น  $15 = 3 \times 5$  (Goong, C. R. and Brylinski, K. : 2002) ดังรูปที่ 1 ที่นำเสนอว่านักฟิสิกส์และนักคณิตศาสตร์กำลังคิดค้นทฤษฎีทางด้านควอนตัมคอมพิวเตอร์

ตัวอย่างของการ factoring ที่ใช้ในทางคอมพิวเตอร์ เช่น เทคนิคการเข้ารหัสลับ (cryptography) ก่อนการส่งข้อมูลจำเป็นต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของตัวเลขเสียก่อน (การส่งข้อมูลความลับเป็นเรื่องสำคัญมากโดยเฉพาะสำหรับรัฐบาลสหรัฐอเมริกา) ต้องอาศัยหลักการใส่รหัส (encoding) และการถอดรหัส (decoding) เงื่อนไขสำคัญของการถอดรหัสแบบ factoring คือเรื่องของเวลาที่ใช้ในการถอดรหัส แม้แต่ซูเปอร์คอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบันก็ยังไม่อาจที่จะถอดรหัสตัวเลขชุดต่างๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

ปีเตอร์ ชอร์ (Peter Shor) ได้นำเสนอวิธีการทำ factoring เป็นคนแรกโดยอาศัยวิธีการกลศาสตร์ควอนตัม แต่ถึงกระนั้นก็ตามควอนตัมคอมพิวเตอร์ก็ยังคงเป็นเรื่องเพ้อฝัน เพราะยังไม่มีใครสามารถนำกรรมวิธีของชอร์มาใช้กับควอนตัมคอมพิวเตอร์จริง ๆ ได้ จนกระทั่งปี ค.ศ. 2001 ไอแซค ชาง (Isacc Chuang) นักเคมีชาวจีนและคอนสแตนทีโน ยานโนนิ (Constantino Yannoni) นักฟิสิกส์ชาวรัสเซียจากห้องแล็บของบริษัทไอบีเอ็ม ได้ทำการทดลอง NMRQC (nuclear magnetic

resonance quantum computing) เพื่อแสดงการหา factoring ตัวเลข 15 ได้คำตอบเป็น 3 และ 5 โดยใช้กรรมวิธีของชอร์โดยได้เป็นผลสำเร็จเป็นกลุ่มแรก

### หลักการของควอนตัมคอมพิวเตอร์

การแสดงผลของคอมพิวเตอร์ทั่วไปแสดงผลเป็นบิต (bit) สามารถแสดงผลได้เพียงสองสถานะคือ "0" หรือ "1" เท่านั้น แต่หัวใจสำคัญของควอนตัมคอมพิวเตอร์อยู่ที่ตัวคิวบิต (qubit) หรือควอนตัมบิตซึ่งเป็นหน่วยแสดงผลที่มีศักยภาพในการแสดงผลได้สามสถานะคือ "0" หรือ "1" หรือ "0, 1" พร้อมๆ กัน โดยสถานะที่สาม "0, 1" มีชื่อเรียกทางฟิสิกส์ว่า "superposition state" ถ้ามีจำนวนคิวบิตเท่ากับ  $n$  จะสามารถทำการคำนวณได้มากถึง  $2^n$  แบบ (Hoi, K. L, Sanda, P and Tim, S. : 1998) เช่นสามารถถอดกุญแจได้ 4 ครั้งในเวลาเดียวกัน ซึ่งเร็วกว่าการถอดกุญแจทีละครั้งเป็นเวลาสี่เท่า อันเป็นความคิดพื้นฐานในการทำงานของควอนตัมคอมพิวเตอร์

หลักการสำคัญข้อแรกที่ใช้ในการสร้างควอนตัมคอมพิวเตอร์คือการสร้างระบบที่มีสองหรือสามสถานะที่ต่างกันอย่างชัดเจน ปัจจุบันมีหลายระบบที่สามารถนำมาทำเป็นคิวบิตได้เช่น ion traps system, quantum dot system, non-linear optics system, electron spin system และ nuclear spin system

Ion traps system เป็นระบบที่มีการดักจับไอออน ปัจจุบันนิยมใช้แคลเซียมไอออนหรือแมกนีเซียมไอออนเนื่องจากว่ามีระดับพลังงานที่แตกต่างกันชัดเจนคือ ไอออนจะถูกจัดเรียงตัวเป็น



เส้นตรง (linear ion traps) โดยส่วนใหญ่จะถูกดักจับแบบ radio frequency traps นั้นหมายความว่าหนึ่งไอออนก็คือหนึ่งคิวบิต เราสามารถควบคุมให้ระดับพลังงานของแคลเซียมไอออนให้อยู่ในสถานะพลังงานที่ต้องการได้โดยใช้เลเซอร์ที่มีความถี่เฉพาะที่ไอออนสามารถดูดกลืนพลังงานไปใช้ในการเปลี่ยนระดับพลังงานนั่นเอง

แนวคิดในการสร้างระบบคิวบิตในตัวแคลเซียมไอออนคือ ระดับพลังงานต่ำสุด (ground state) คือ  $4S_{1/2}$  ถูกกำหนดให้เป็นบิต “0” ระดับพลังงาน  $4P_{1/2}$  ถูกกำหนดให้เป็นบิต “1” และระดับพลังงาน  $3D_{3/2}$  จะถูกกำหนดให้เป็น superposition state ระหว่างบิต “0” และ “1” ระบบไอออนแทริบนี้มีข้อดีคือสามารถเข้าถึงและควบคุมไอออนแต่ละตัวให้อยู่ในสถานะคิวบิตใด ๆ ได้ตามที่เราต้องการโดยการใช้อำนาจแสงเลเซอร์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกับขนาดของไอออนในระดับนาโนเมตร ปัญหาของระบบนี้คือเรื่องของความร้อนที่เกิดขึ้นซึ่งนำไปสู่สถานะที่ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน (thermal excitation) อันเป็นตัวแปรภายนอกที่เราไม่ต้องการให้เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงต้องเตรียมระบบเริ่มแรกให้ไอออนทั้งหมดอยู่ในสถานะพื้น (ground state) ให้ได้พร้อมกัน มิฉะนั้นจะส่งผลทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมคิวบิต เทคนิคของการกำจัด thermal excitation หรือที่เรียกว่า “cooling atom” นั้นจึงสำคัญมากสำหรับระบบไอออนแทริบ

หัวใจสำคัญอีกอย่างของควอนตัมคอมพิวเตอร์คือ gate operation ระบบไอออนแทริบก็เหมือนกับกรกระทำพื้นฐานทางตรรกศาสตร์คือสามารถสร้างเกตในรูปแบบต่าง ๆ ได้เลย เช่น AND gate, OR gate และ XOR gate เป็นต้น

## ควอนตัมดอท

ควอนตัมดอท (quantum dots) เป็นระบบคิวบิตที่เป็นสสารขนาดเล็กระดับนาโนเมตร โดยที่อะตอมจำนวนหนึ่งของสสารนั้นมีคุณสมบัติเรืองแสงและแสงนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงสีได้ด้วยการควบคุมจำนวนอิเล็กตรอนและซังมันไว้ภายในบริเวณกลุ่มของอะตอมตามที่เรากำลังต้องการ ถึงแม้ว่าอาจมีสสารอย่างอื่นที่มีคุณสมบัติเรืองแสง (fluorescence) แต่สสารที่ใช้สำหรับควอนตัมดอทมีความสามารถในการเรืองแสงได้ดีกว่าและยังมีความทนต่อแสงที่มีความเข้มสูง (photo bleaching) นอกจากนี้ยังมีความสามารถที่จะให้สีที่มีความหลากหลายพร้อมกันโดยการเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นแสง

ควอนตัมดอทหนึ่งพื้นที่สามารถบรรจุอิเล็กตรอนจำนวนเท่าไรก็ได้ตามที่เราต้องการ ซึ่งขนาดของดอทประมาณ 30 นาโนเมตร ถึง 1 ไมโครเมตร เช่นระบบคิวบิตของควอนตัมดอทของห้องปฏิบัติการ ATIPS ประเทศสหรัฐอเมริกาหนึ่งเซลล์สามารถบรรจุได้สี่ควอนตัมดอท แต่ละควอนตัมดอทบรรจุอิเล็กตรอนไว้หนึ่งตัวเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าแก่ระบบก็ทำให้เกิดการจัดเรียงอิเล็กตรอนในแบบที่แตกต่างกัน สามารถแทนระบบแรกเป็นคิวบิต “0” และระบบแบบที่สองเป็นคิวบิต “1” ซึ่งสามารถทำ gate operation ให้กับระบบควอนตัมดอทได้เช่นกัน

## ควอนตัมดอทกับสารกึ่งตัวนำ

สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ที่ใช้กันในอดีตนั้นมีปัญหาในเรื่องของความทนทานในการใช้งานและความถี่ในการปลดปล่อยแสง แต่ควอนตัมดอทนั้นแตกต่างออกไป หากสามารถนำ



วัสดุที่มีส่วนประกอบของควอนตัมดอทมาทำเป็นสารกึ่งตัวนำแล้ว จะทำให้สารกึ่งตัวนำนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงการเปล่งแสงได้อย่างง่ายดาย

### ควอนตัมดอทกับไดโอดเปล่งแสง

ปัญหาของไดโอดเปล่งแสง (LEDs) คือ การสูญเสียพลังงานจากการเปล่งแสงออกมาจากความถี่ที่ถูกควบคุมไว้โดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนี้การจะทำให้ไดโอดเปล่งแสงเปลี่ยนสีได้จำเป็นต้องใช้ฟอสเฟอร์ (phosphors) การใช้ฟอสเฟอร์สำหรับการเปลี่ยนความยาวคลื่นมีข้อจำกัดในทางเทคนิคที่ไม่สามารถเปลี่ยนฟอสเฟอร์ได้ง่าย ๆ นอกจากนี้การใช้ฟอสเฟอร์เคลือบบนไดโอดเปล่งแสงทำได้ยากและมีค่าใช้จ่ายสูง แต่การใช้ควอนตัมดอทซึ่งทำหน้าที่เหมือนตัวเปลี่ยนความยาวคลื่นส่งผลให้ไดโอดเปล่งแสงสามารถเปลี่ยนแสงจากความยาวคลื่นหนึ่งไปเป็นแสงอีกความยาวคลื่นหนึ่งได้สะดวกยิ่งขึ้น เนื่องจากควอนตัมดอทมีขนาดเล็กมาก การเพิ่มหรือลดจำนวนอะตอมเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ฟอสเฟอร์ที่ทำจากควอนตัมดอทสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามรูปร่างของไดโอดเปล่งแสง อีกทั้งการควบคุมขนาดของควอนตัมดอทย่อมส่งผลถึงความสามารถในการสั่งการให้ไดโอดเปล่งแสงเปลี่ยนสีได้ตามความต้องการ

### ควอนตัมคอมพิวเตอร์กับไมโครคอมพิวเตอร์

ไมโครคอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์ที่เรา รู้จักกันในปัจจุบันเก็บข้อมูลด้วยสัญญาณไฟฟ้า ถ้าไม่มีค่าไฟฟ้าใด ๆ เลย ก็ใช้สัญลักษณ์ในการแทนค่าคือ “0” ถ้ามีค่าสัญญาณไฟฟ้าก็ใช้สัญลักษณ์คือ “1” หน่วยเล็กที่สุดของข้อมูลใน

ระบบดิจิทัลเรียกว่า “บิต” (bit) ซึ่งจะใช้แทนค่า 0 หรือ 1 การประมวลผลจำเป็นต้องนำบิตมาเรียงต่อกันหลาย ๆ บิตเพื่อที่จะได้ประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้บิตเป็นชุดหรือเรียกว่า “รีจิสเตอร์” (register) รีจิสเตอร์ 1 บิต ใช้แทนข้อมูลได้สองลักษณะ คือ “0” หรือ “1” ถ้าเป็นรีจิสเตอร์ 2 บิต สามารถใช้แทนข้อมูลได้ 4 แบบ คือ 00, 01, 10, 11 หากแปลงระบบเลขฐานสอง (binary number system) นี้ให้เป็นระบบเลขฐานสิบ (decimal number system) จะทำให้รีจิสเตอร์ 2 บิตสามารถเก็บข้อมูล 0, 1, 2, 3 ได้ในคราวเดียว

สำหรับควอนตัมคอมพิวเตอร์ หน่วยที่เล็กที่สุดของข้อมูลเรียกว่า “คิวบิต” (qubit) คิวบิตจะแทนค่าทั้ง 0 และ 1 ได้พร้อมกันในคราวเดียว เช่น ถ้าหากเราต้องการบวก 1 เข้ากับตัวเลขทุกตัวจาก 0 ถึง 3 เข้าด้วยกัน หากใช้หน่วยบิตของการแทนข้อมูลในไมโครคอมพิวเตอร์ต้องผ่านการกระทำ 4 ขั้นตอน ด้วยการแยกการประมวลผลทีละหนึ่งข้อ แต่ถ้าเป็นควอนตัมคอมพิวเตอร์แล้วสามารถทำได้ในขั้นตอนเดียวเหมือนกับการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ 4 เครื่อง มาต่อขนานกันเพื่อประมวลผล (แต่ละบิตที่เติมเข้าไปในรีจิสเตอร์ เท่ากับการเพิ่มค่ายกกำลังสอง)

ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับงานด้านการพิมพ์เอกสารและอินเทอร์เน็ต แต่สิ่งที่น่าสนใจสำหรับควอนตัมคอมพิวเตอร์นั้นคือขีดความสามารถในการคำนวณโจทย์คณิตศาสตร์ยาก ๆ เช่น การแยกตัวประกอบผลคูณของจำนวนเฉพาะ 2 ชุด ได้มีการประเมินและคาดการณ์ว่าการแยกตัวประกอบของเลขจำนวน 250 หลัก ถ้าเป็น



ไมโครคอมพิวเตอร์จะต้องใช้เวลาหลายพันล้านปี แต่ถ้าเป็นควอนตัมคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ ภายในเวลาไม่กี่เดือนเท่านั้น ด้วยประสิทธิภาพ ในการประมวลผลเช่นนี้ หน่วยงานทางทหารและ หน่วยงานข่าวกรองทั่วทั้งโลกจึงลงทุนกันมหาศาล เพื่อวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมคอมพิวเตอร์

### ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นกับควอนตัมคอมพิวเตอร์

ปัญหาที่เกิดกับควอนตัมคอมพิวเตอร์คือ ความยุ่งยากในการพัฒนาวิธีการเชื่อมโยงข้อมูล ของคิวบิต (qubit) ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจาก ความสามารถที่จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้อมูล กันได้นั้นถือว่าเป็นพื้นฐานของการสร้างควอนตัม คอมพิวเตอร์ที่สมบูรณ์ ทีมนักวิจัยกลุ่มหนึ่งได้ใช้ ความถี่วิทยุ (radio frequency) และลำแสงเลเซอร์ เข้ามาเกี่ยวข้องกับงานครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตามถึง แม้ความถี่วิทยุอาจทำให้เกิดการย้ายไอออนที่ถูก กระตุ้นแล้วได้บ้างพอสมควร แต่เมื่อมีการเพิ่มความถี่วิทยุให้สูงขึ้นแล้วจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ ทางฟิสิกส์ที่เรียกว่า “decoherence” ขึ้น ซึ่งเป็น การลดผลของเลเซอร์ลงได้ ในขณะที่เราใช้ผลของ ความถี่วิทยุในการเชื่อมโยงคู่อิเล็กตรอนอยู่นั้น อาจทำให้เกิดการรบกวนต่อการควบคุมทิศทางของ ไอออนได้ โดยเลเซอร์สามารถรองรับการเชื่อมโยง ของกลุ่มไอออนได้ หากเราสามารถควบคุมเป้าหมาย

หรือทิศทางได้เพียงตรง ซึ่งขณะนี้นักวิจัยกำลัง พยายามหาวิธีการลดหรือกำจัดอิทธิพลของความถี่ วิทยุที่มีผลกระทบต่อไอออนและใช้เลเซอร์ที่มี การกำหนดทิศทางได้แม่นยำแทน

### บทสรุป

ควอนตัมคอมพิวเตอร์เป็นเรื่องที่น่าสนใจ และกำลังอยู่บนเส้นทางที่น่าจับตามอง เนื่องจาก บริษัทยักษ์ใหญ่และมหาวิทยาลัยที่มีชื่อเสียงกำลัง แข่งขันกันอย่างมากในการพัฒนาระบบควอนตัม คอมพิวเตอร์เพื่อเอาไปใช้งานได้จริง ๆ ควอนตัม คอมพิวเตอร์อาจเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เราค้นพบ ความมหัศจรรย์ของธรรมชาติที่มีอยู่หลากหลายมิติ เช่นเดียวกับการค้นพบความเป็นจริงของธรรมชาติ และการสร้างองค์ความรู้ภายหลังจากที่ได้มี การประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์และกล้องโทรทัศน์ อย่างไรก็ตามเรื่องราวของควอนตัมคอมพิวเตอร์ นี้เป็นเรื่องที่ซับซ้อนทั้งกับผู้วิจัยและผู้ศึกษาต้อง อาศัยความรู้พื้นฐานทางกลศาสตร์ควอนตัมและ คณิตศาสตร์ชั้นสูงรวมถึงความรู้ทางเทคนิคต่าง ๆ ของเครื่องมือทางฟิสิกส์อีกหลายแขนง ทั้งหมดที่ กล่าวมาในบทความนี้เป็นความพยายามร่วมกัน ระหว่างสถานศึกษา หน่วยงานรัฐและภาคธุรกิจ ในการวิจัยสิ่งประดิษฐ์ซึ่งจะเป็นนวัตกรรมใหม่ของ มนุษย์ในอนาคต



### บรรณานุกรม

- Goong, C. R. and Brylinski, K. (2002) **Mathematics of quantum computation**. Boca Raton : Chapman & Hall.
- Hoi, K. L., Sanda, P. and Shor, P. W. (1998) **Introduction to quantum computation and information**. Singapore : World scientific.
- Macchiavello, G. M. and Palma, A. Z. (2000) **Quantum computation and quantum information theory**. Singapore : World scientific.