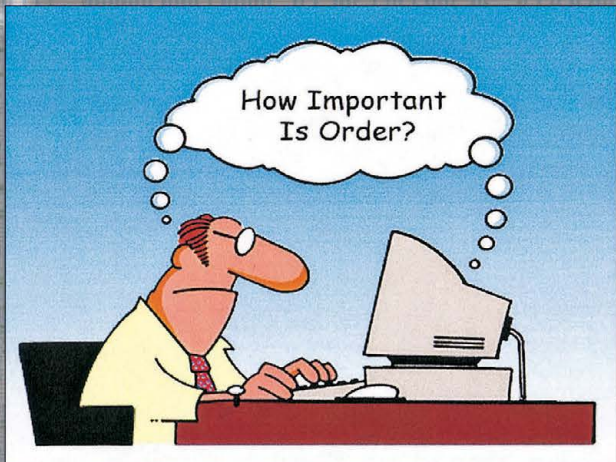
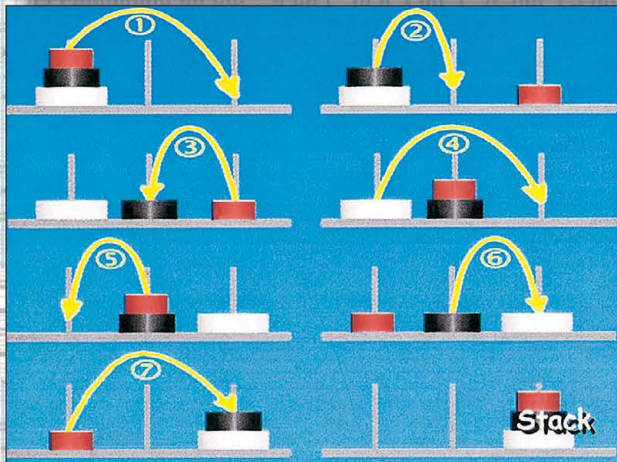
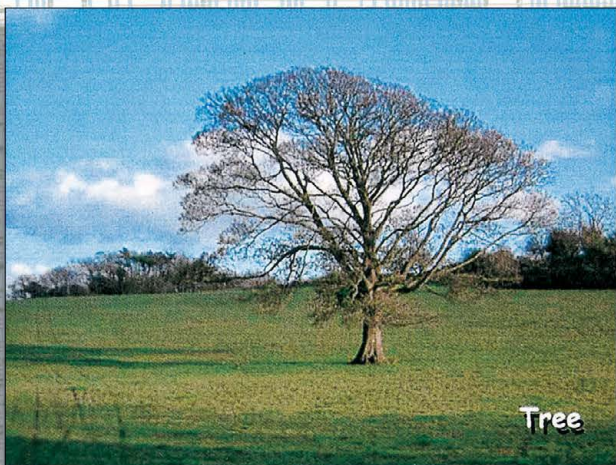
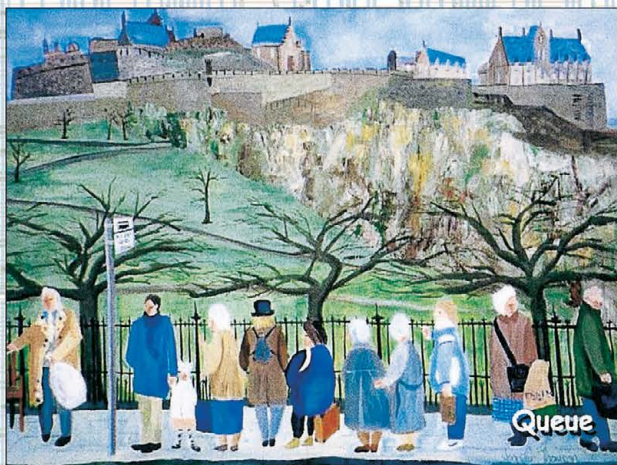




โครงสร้างข้อมูล และอัลกอริทึม

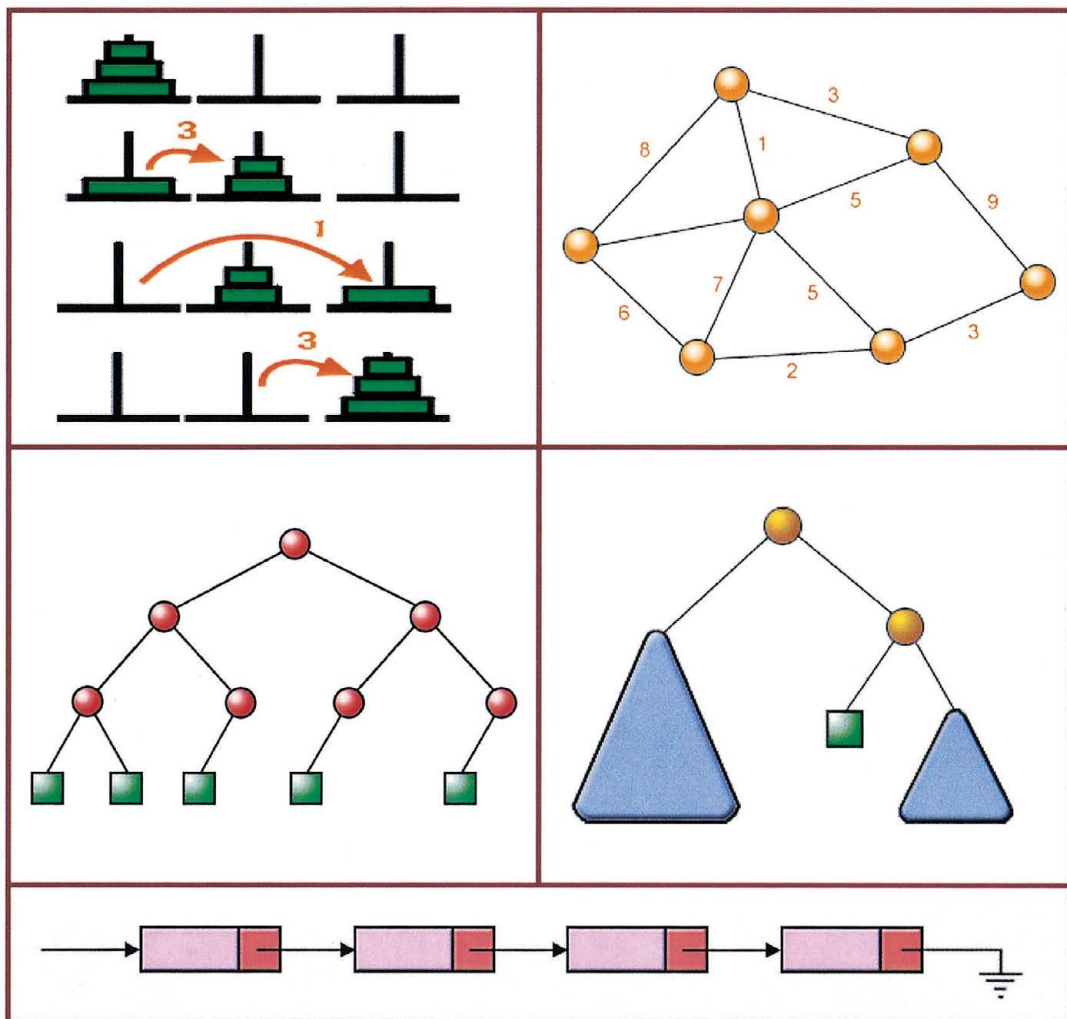
(แถวลำดับ รายการ สแตก คิว กราฟ ต้นไม้ อัลกอริทึมการเรียงลำดับ การค้นหา การวิเคราะห์อัลกอริทึม)



โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน.

โครงสร้างข้อมูล และอัลกอริทึม

(แถวลำดับ รายการ สแตก คิว กราฟ ต้นไม้ อัลกอริทึมการเรียงลำดับ การค้นหา การวิเคราะห์อัลกอริทึม)





**มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา
ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา
กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.)**

ความเป็นมา

ประเทศไทยส่งนักเรียนเข้าแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศครั้งแรกในปี พ.ศ. 2532 ที่ประเทศเยอรมนี โดยความร่วมมือระหว่างสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา (พระยศในขณะนั้น) ได้พระราชทานเงินส่วนพระองค์จำนวนหนึ่งเพื่อเป็นค่าใช้จ่าย

การคัดเลือกนักเรียนเพื่อไปแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศ ครั้งที่ 30 สมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ ได้จัดคณะกรรมการมหาวิทยาลัยจำนวนหนึ่งมาช่วยเฟ้นหาและฝึกอบรมเป็นเวลาประมาณสองเดือน เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาเพิ่มเติมครอบคลุมหลักสูตรที่จะใช้แข่งขัน ซึ่งอยู่ในระดับชั้นปีที่ 1-2 ของมหาวิทยาลัย จากผลสำเร็จในปีแรก ทำให้รัฐบาลเห็นความสำคัญจึงได้จัดสรรงบประมาณให้กับโครงการนี้ผ่านสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 เป็นต้นมา สมทบกับเงินพระราชทานเป็นรายปีจากสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เพื่อสนับสนุนการส่งนักเรียนไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศ 5 สาขา จนถึงปัจจุบันรวม 14 ปี นักเรียนไทยได้ทำชื่อเสียงได้เหรียญทองรวม 17 เหรียญ เหรียญเงิน 53 เหรียญ เหรียญทองแดง 93 เหรียญ และเกียรติคุณประกาศ 35 ราย รวมทั้งสิ้น 198 รางวัล จากจำนวนนักเรียนที่ส่งไปแข่งขัน 276 คน (72%)

อย่างไรก็ตาม จากการที่ประเทศไทยดำเนินการจัดส่งนักเรียนเข้าร่วมการแข่งขันคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ โอลิมปิกระหว่างประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ.2532 จนถึงปัจจุบัน ทำให้เห็นว่ามาตรฐานการศึกษาด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ของไทยยังต่ำกว่ามาตรฐานสากล การเตรียมตัวของนักเรียนยังใช้เวลาน้อยเกินไป

เพื่อให้การส่งเสริมและสนับสนุน โครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นสมเด็จพระเจ้า พี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ จึงมีพระดำริให้จัดตั้งมูลนิธิ สอวน. และได้รับอนุมัติจากกระทรวงมหาดไทยเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2542 โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ

วัตถุประสงค์

1. ส่งเสริมให้นักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายทั่วประเทศที่มีความสามารถทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มีโอกาสได้รับการพัฒนาศักยภาพทางด้านคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา ตามความถนัดทั้งด้านทฤษฎีและทักษะด้านปฏิบัติ ให้สามารถคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ โดยจัดให้มีศูนย์อบรมทั่วประเทศเป็นการเพิ่มเวลาฝึกอบรม เพื่อช่วยให้นักเรียนมีความพร้อมที่จะเข้ารับการคัดเลือกไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ตามพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ องค์ประธานมูลนิธิ สอวน.
2. เพื่อนำประสบการณ์ที่ได้จากการแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษาของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าระดับสากล

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.) ได้ร่วมมือกับคณาจารย์มหาวิทยาลัยของรัฐ 20 แห่ง และกระทรวงศึกษาธิการ ดำเนินการจัดตั้งศูนย์ สอวน. ในภูมิภาค 12 ศูนย์ และในกรุงเทพฯ 1 ศูนย์ (5 โรงเรียน) เพื่อพัฒนาศักยภาพทางปัญญาของนักเรียนที่มีความพร้อมในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์จากทั่วประเทศ เพื่อให้นักเรียนได้มีความรู้ความสามารถเทียบเท่ามาตรฐานสากล และพร้อมที่จะสอบคัดเลือกเป็นผู้แทนประเทศไทยไปร่วมการแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศในสาขาวิชาต่างๆ ได้ และเพื่อขยายผลจากประสบการณ์ที่ได้เข้าแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าสากล

ในการอบรมนักเรียนของศูนย์ สอวน. มูลนิธิ สอวน. ได้พิจารณาเห็นว่าตำราที่มีความสมบูรณ์ของเนื้อหาตามหลักสูตรของ สอวน. จะช่วยพัฒนาศักยภาพของนักเรียนในศูนย์ สอวน. ให้สูงขึ้นได้ นอกจากนั้นตำราเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีความสมบูรณ์ถูกต้องยังขาดแคลน นักเรียนและครูสามารถนำตำราที่พัฒนาขึ้นมานี้ไปใช้เป็นหนังสืออ้างอิงประกอบการเรียนการสอนได้อีกด้วย มูลนิธิ สอวน. จึงได้มี “โครงการจัดทำตำราส่งเสริมพัฒนาศักยภาพของนักเรียนด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์” ขึ้น เพื่อผลิตตำราคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์ที่มีเนื้อหาหลักสูตรตามมาตรฐานสากล โดยมีวัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นที่ระลึกในมหามงคลสมัยที่สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ ทรงเจริญพระชนมายุ 80 พรรษา ซึ่งพระองค์ทรงมีพระมหากรุณาธิคุณต่อโครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศและทรงสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อพัฒนามาตรฐานการศึกษาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยอย่างหาที่สุดมิได้

2. เพื่อผลิตหนังสือคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายถึงระดับชั้นปีที่ 1 ของคณะวิทยาศาสตร์ในมหาวิทยาลัยให้มีคุณภาพเทียบเท่าสากล เรียบเรียงโดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยของรัฐที่มีประสบการณ์สูงและที่มีส่วนร่วมในการฝึกอบรมนักเรียนในค่าย สอวน. ค่าย สสวท. และควบคุมนักเรียนไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศ เนื้อหาในหนังสือเน้นกระบวนการคิดแบบวิทยาศาสตร์ เพื่อฝึกฝนให้นักเรียนสามารถคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทั้งในเชิงทฤษฎีและประยุกต์ได้โดยจัดพิมพ์บนกระดาษอาร์ตอย่างดีและมีภาพสีประกอบคำบรรยาย

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของมูลนิธิ สอวน. มีเป้าหมายในการผลิตตำราคณิตศาสตร์ รวม 5 เล่ม คอมพิวเตอร์ 3 เล่ม เคมี 3 เล่ม ชีววิทยา 5 เล่ม และฟิสิกส์ 3 เล่ม โดยหนังสือชุดแรกจะนำขึ้นทูลเกล้าถวายในวันที่ 6 มิถุนายน 2547 ซึ่งเป็นวันประชุมสามัญประจำปี พ.ศ. 2547 ของคณะกรรมการบริหาร และสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เสด็จเป็นองค์ประธานที่ประชุม ส่วนที่เหลือคาดว่าจะจัดพิมพ์ให้แล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2547 นี้ นอกจากนั้นคณะกรรมการโครงการผลิตตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. มีเป้าหมายจะผลิตตำราที่มีคุณภาพสูงนี้ในระดับมัธยมศึกษาต้นโดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัย เพื่อวางรากฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐานและเพื่อสร้างแรงบันดาลใจและความสนใจทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์แก่เยาวชนอีกด้วย หากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือด้านงบประมาณจากภาครัฐและเอกชน

คณะจัดทำหนังสือคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์หวังว่าโครงการตำราคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ของมูลนิธิ สอวน. จะมีส่วนร่วมในการปฏิรูปการเรียนรู้และยกระดับมาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้เทียบเท่ากับระดับสากลเพื่อสนองพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์

คณะกรรมการโครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

คณะกรรมการที่ปรึกษา

1. ศาสตราจารย์ นายแพทย์ จรัส สุวรรณเวลา	รองประธานมูลนิธิ สอวน.
2. รองศาสตราจารย์ ดร.กำจัด มงคลกุล	กรรมการมูลนิธิฯ
3. ดร. คุณหญิงกษมา วรวรรณ ณ อยุธยา	กรรมการมูลนิธิฯ
4. รองศาสตราจารย์ ดร. คุณหญิงสุมณฑา พรหมบุญ	กรรมการมูลนิธิฯ
5. นายเชาว์ อรรถมานะ (อดีต)	กรรมการมูลนิธิฯ
6. นายสมนึก พิมลเสถียร	กรรมการมูลนิธิฯ
7. นายสุนทร อรุณานนท์ชัย	กรรมการมูลนิธิฯ
8. รองศาสตราจารย์บุญรักษา สุนทรธรรม	กรรมการมูลนิธิฯ

คณะกรรมการดำเนินงานโครงการตำราฯ

1. ศาสตราจารย์ศักดิ์ ศิริพันธุ์ (ราชบัณฑิต) เลขานุการมูลนิธิ สอวน.	ประธาน
2. รองศาสตราจารย์เย็นใจ สมวิเชียร	รองประธาน
3. รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ ปิ่นนัม	กรรมการ (วิชาคณิตศาสตร์)
4. รองศาสตราจารย์เย็น ภู่วรรณ	กรรมการ (วิชาคอมพิวเตอร์)
5. รองศาสตราจารย์ ดร. พินิติ รตะนาถกุล	กรรมการ (วิชาเคมี)
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วุทธิพันธุ์ ปรัชญพฤทธิ	กรรมการ (วิชาฟิสิกส์)
7. ศาสตราจารย์อักษร ศรีเปล่ง	กรรมการ (วิชาชีพวิทยาศาสตร์ ประเภทพืช)
8. รองศาสตราจารย์ ดร. อุทัย ยศยิ่งยวด	กรรมการ (วิชาชีพวิทยาศาสตร์ ประเภทสัตว์)

คณะผู้เขียนวิชาคอมพิวเตอร์

1. รองศาสตราจารย์เย็น ภู่วรรณ	ประธานคณะอนุกรรมการ
2. รองศาสตราจารย์ ดร. อนงค์นาฏ ศรีวิหค	อนุกรรมการ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุมาพร ศิริธรรานนท์	อนุกรรมการ
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัลยาณี บรรจงจิตร	อนุกรรมการ
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงนุช สุขวาริ	อนุกรรมการ
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรรณิกา คงสาคร	อนุกรรมการ
7. อาจารย์ศิริกร จันทร์นวล	อนุกรรมการ
8. อาจารย์พบสิทธิ์ กมลเวช	อนุกรรมการ
9. ดร. นวลวรรณ สุนทรภิชัย	อนุกรรมการ
10. ดร. สุขุมล กิตติสิน	อนุกรรมการ
11. อาจารย์พัชรี เลิศจิตรศิลป์	อนุกรรมการ
12. อาจารย์มารีสา มัยยะ	อนุกรรมการ

คำนำ

การแข่งขันคอมพิวเตอร์โอลิมปิกระดับนานาชาติ เน้นให้นักเรียนรู้จักกับการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงได้ ผู้เข้าแข่งขันจะได้รับโจทย์ปัญหา และต้องเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาคำตอบ และต้องทำให้ได้ภายในเวลาที่กำหนดอีกหลายอย่าง เช่น การใช้หน่วยความจำที่จำกัด การใช้เวลาในการประมวลผลที่กำหนด

การเขียนโปรแกรมแก้ปัญหาโจทย์เหล่านี้เป็นสิ่งที่ดี นักเรียนจะต้องมีพื้นฐานความรู้ทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์อีกหลายเรื่อง ทั้งทางด้านคณิตศาสตร์ ด้านโครงสร้างข้อมูล และขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหา หรืออัลกอริทึม ร่วมกับการสร้างประสบการณ์การเขียนโปรแกรม และเทคนิคการเขียนโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งปัจจุบันนักเรียนไทยยังขาดความรู้พื้นฐานเหล่านี้อยู่มาก

การพัฒนาการเรียนในระดับมัธยมศึกษาที่ดียิ่งขึ้นอีกทางหนึ่งคือ การเสริมสร้างเอกสาร ตำราวิชาการ และชี้แนวทางของการศึกษาทางด้านคอมพิวเตอร์พื้นฐานที่ถูกต้องและชัดเจน เพราะหลายคนคิดว่าการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้เท่านั้นเป็นสิ่งที่ต้องการ แต่ความเป็นจริงต้องสามารถแก้โจทย์ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงได้อย่างมีหลักการ ตำราวิชาการชุดนี้จึงมีหลายเล่ม ตั้งแต่คณิตศาสตร์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Mathematics) การเขียนโปรแกรมภาษาซี โครงสร้างข้อมูลและอัลกอริทึม เป็นต้น

หนังสือเล่มนี้ มีเนื้อหาที่เน้นในเรื่องของโครงสร้างข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในคอมพิวเตอร์และพื้นฐานของอัลกอริทึม โดยได้วางรากฐานการศึกษาในระดับพื้นฐานที่จะนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งนับว่ามีความจำเป็นของการศึกษาทางด้านนี้อย่างยิ่ง โดยเนื้อหาที่กล่าวถึงเน้นสู่ภาคปฏิบัติ เพื่อให้เขียนโปรแกรมประยุกต์ใช้ได้ต่อไปได้

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ

วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร) เกียรตินิยม, วศ. ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

M.Eng (Industrial Engineering and Management) at Asian Institute of Technology

ผู้เขียน

รองศาสตราจารย์ ดร. อนงค์นาฏ ศรีวิหค

วท.บ. (จุลชีววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

M.S. (Bacteriology) University of Arkansas

Ph.D. (Information Systems) Central Queensland University

อาจารย์ ศิริกร จันทร์นวล

ศต.บ. (การประมวลผลด้วยเครื่องจักร) เกียรตินิยมอันดับ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

M.S. (Computer Science) Syracuse University

อาจารย์ พบสิทธิ์ กมลเวช

วศ.บ. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

M.S. (Computer and Engineering Management) มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

ดร. สุพุมล กิตติสิน

B.S. (Computer Science) Indiana University of Pennsylvania

M.S. (Computer Science) University of Southern California

Ph.D. (Computer Science) University of Southern California

ISBN 974-92372-7-7

สงวนลิขสิทธิ์

จัดพิมพ์โดย มูลนิธิ สอวน.

พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2547 (2004)

ออกแบบปก หน้าที่รองปกและหน้านำบท

โดย นายเมธี บำรุงราชหิรัณย์

และ รองศาสตราจารย์สุชาดา ศิริพันธุ์

ศูนย์ Advance Virtual Intelligent Computing (AVIC)

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

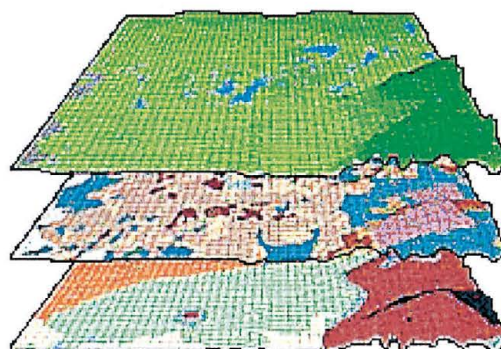
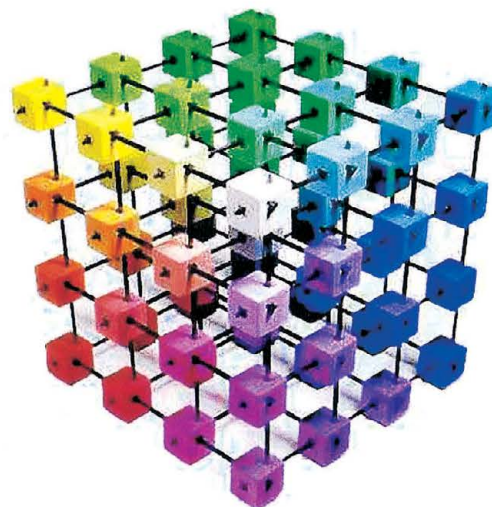
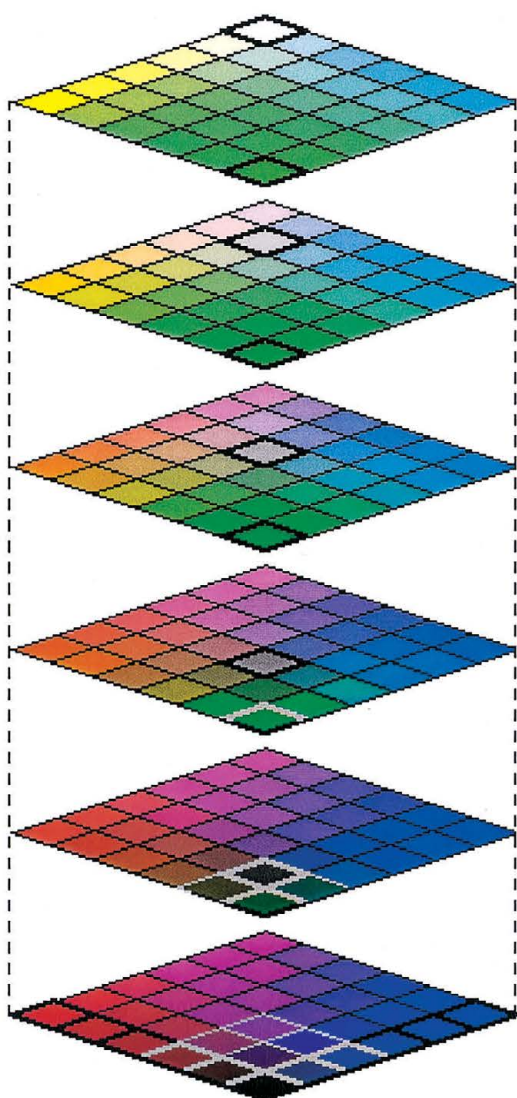
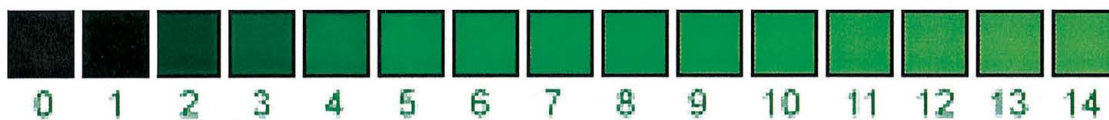
ศิลปกรรม: นายปรีชา นัฏระเนตร

พิมพ์ที่ บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด

แยกสี่ เหลท บริษัทโอเล่ฟแวนด์ลเลอร์ส จำกัด

	หน้า
บทที่ 1 แกล้งลำดับ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 แกล้งลำดับ 1 มิติ	1
1.3 สายอักขระ	2
1.4 แกล้งลำดับหลายมิติ	3
1.4.1 การประกาศแกล้งลำดับ 2 มิติ	4
1.4.2 การประกาศแกล้งลำดับ 3 มิติ	5
1.4.3 การประกาศแกล้งลำดับ 5 มิติ	5
1.4.4 รูปแบบการประกาศแกล้งลำดับหลายมิติ	5
บทที่ 2 รายการ	9
2.1 บทนำ	9
2.1.1 การทำงานของรายการแบบลำดับ	9
2.1.2 ฟังก์ชันที่ใช้ดำเนินงานกับรายการ	9
2.2 รายการโยง	13
2.2.1 โครงสร้างของรายการโยง	13
2.2.2 การประกาศรายการโยงในภาษาซี	14
2.2.3 การนำตัวชี้มาใช้งาน	15
2.2.4 การจัดการกับโหนดชนิดตัวชี้	15
2.2.5 การเรียกใช้ตัวชี้ที่ตำแหน่งต่างๆในรายการโยง	16
2.3 การทำงานของรายการโยง	17
บทที่ 3 สแตก	27
3.1 โครงสร้างข้อมูลแบบสแตก	27
3.2 การสร้างสแตกด้วยแกล้งลำดับ	29
3.3 การสร้างสแตกด้วยรายการโยง	30
3.4 ข้อเปรียบเทียบของประสิทธิภาพของการดำเนินงาน	32
บทที่ 4 คิว	35
4.1 การสร้างคิวด้วยแกล้งลำดับ	37
4.2 การสร้างคิวด้วยรายการโยง	39
4.3 ข้อเปรียบเทียบของประสิทธิภาพของการดำเนินงาน	42
บทที่ 5 กราฟ	45
5.1 บทนำ	45
5.2 กราฟ	45
5.3 การคำนวณระยะทาง	47

5.4	การแทนเมทริกซ์ประชิด	48
5.5	การหาระยะทางสั้นที่สุด	50
5.6	การแทนกราฟด้วยรายการโยงประชิด	52
5.7	การแวะผ่านกราฟ	54
5.7.1	การแวะผ่านในแนวกว้าง	54
5.7.2	การแวะผ่านแนวลึก	58
บทที่ 6	ต้นไม้	63
6.1	ความหมายของต้นไม้	63
6.2	ประเภทของต้นไม้	64
6.3	ต้นไม้ทวิภาค	65
6.3.1	ประเภทของต้นไม้ทวิภาค	67
6.3.2	โครงสร้างข้อมูลของต้นไม้ทวิภาค	68
6.3.3	การดำเนินการของต้นไม้ทวิภาค	77
6.3.4	การท่องไปในต้นไม้ทวิภาค	77
6.4	ต้นไม้ค้นหาทวิภาค	80
บทที่ 7	อัลกอริทึมการเรียงลำดับ	91
7.1	การเรียงลำดับแบบแทรก	91
7.1.1	ตัวอย่างการทำงานของ การเรียงลำดับแบบแทรก	93
7.2	การเรียงลำดับแบบเลือก	93
7.2.1	ตัวอย่างการทำงานของ การเรียงลำดับแบบเลือก	95
7.3	การเรียงลำดับแบบฟอง	96
7.3.1	ตัวอย่างการเรียงลำดับแบบฟอง	98
7.4	การเรียงลำดับแบบผสาน	99
7.4.1	ตัวอย่างการทำงานของ การเรียงลำดับแบบผสาน	102
บทที่ 8	การค้นหา	105
8.1	การค้นหาแบบเรียงลำดับ	105
8.2	การค้นหาแบบทวิภาค	106
บทที่ 9	การวิเคราะห์อัลกอริทึม	111
9.1	บทนำ	111
9.2	การวิเคราะห์อัลกอริทึม	112
บรรณานุกรม		123
ดัชนี		125



บทที่ 1

แวลลำดับ

1.1 บทนำ

แวลลำดับเป็นโครงสร้างข้อมูลทีพบในภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงทุกภาษา โครงสร้างชนิดนี้ใช้เก็บข้อมูลชนิดเดียวกันที่มีขอบเขตจำกัดและมีขนาดคงที่ การทำงานพื้นฐานของแวลลำดับ คือ การเข้าถึงตำแหน่งแต่ละตำแหน่งในแวลลำดับได้โดยตรง สมาชิกในแวลลำดับ เรียกว่า คอมโปเนนต์ (component) และสมาชิกเหล่านี้เก็บในแวลลำดับแบบอันดับ คือ สมาชิกตัวที่ 1 สมาชิกตัวที่ 2 , ... , n สมาชิกทั้งหมดในแวลลำดับต้องเป็นชนิดเดียวกัน ดังนั้นสามารถกำหนดแวลลำดับของจำนวนจริง แวลลำดับของจำนวนเต็ม

การเข้าถึงแวลลำดับแบบตรง หมายถึง การเข้าถึงสมาชิกของแวลลำดับ โดยการกำหนดตำแหน่งของสมาชิกในแวลลำดับ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการเข้าถึงสมาชิกแต่ละตัวในแวลลำดับจะมีจำนวนเท่ากัน ไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสมาชิก เช่น แวลลำดับที่มีสมาชิก 200 ตัว การเข้าถึงสมาชิกตัวที่ 75 จะใช้เวลาเท่ากับการเข้าถึงสมาชิกตัวที่ 5

ในภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูง แวลลำดับแทนด้วยตัวแปรซึ่งมีสมาชิกอยู่ภายใน การเรียกใช้สมาชิกภายในแวลลำดับเรียกโดยระบุชื่อแวลลำดับและดรรชนีของแวลลำดับ ซึ่งเป็นการบอกตำแหน่งของสมาชิกตัวนั้น แวลลำดับที่มีดรรชนีเพียง 1 ตัว เรียกว่า แวลลำดับ 1 มิติ (one dimensional array) แวลลำดับที่มีดรรชนีหลายตัว เรียกว่า แวลลำดับหลายมิติ (multidimensional array)

1.2 แวลลำดับ 1 มิติ

การประกาศแวลลำดับมี 3 ส่วน คือ ชนิดของดรรชนี (index type) และชนิดของสมาชิก
รูปแบบในภาษาซี

ชนิดของสมาชิก แวลลำดับ[ดรรชนี]

ชนิดของดรรชนี ต้องเป็นข้อมูลชนิดอันดับ (ordinal) เท่านั้น

ชนิดของสมาชิก เป็นชนิดข้อมูลใด ๆ

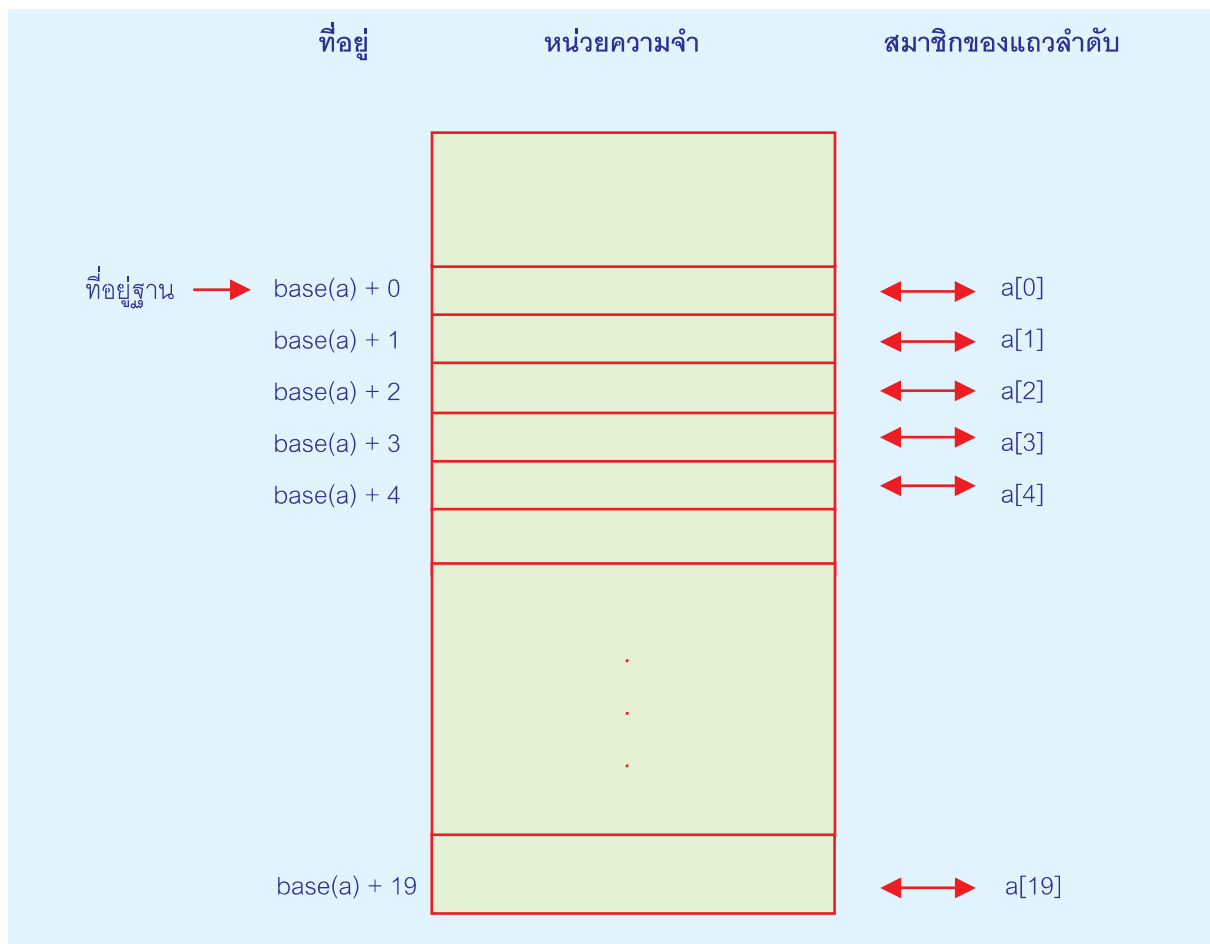
เช่น

```
int a[20];
```

ในการกำหนดครั้งนี้ ตัวแปลภาษาจะเนื้อที่ในหน่วยความจำซึ่งมีขนาดใหญ่พอที่จะเก็บสมาชิกของแถวลำดับทั้งแถว ที่อยู่ของหน่วยความจำที่ใช้เก็บสมาชิกตัวแรก เรียกว่า ที่อยู่ฐาน (base address) ของแถวลำดับซึ่งแทนด้วย $\text{base}(a)$ และที่อยู่ของสมาชิกแถวลำดับตัวอื่นๆ สามารถคำนวณได้จากที่อยู่ฐาน เช่น ถ้าเก็บจำนวนเต็มไว้ในหน่วยความจำโดยเก็บจำนวนเต็ม 1 จำนวนไว้ใน 1 เซลล์ เมื่อเริ่มเก็บ $a[0]$ ไว้ที่ตำแหน่ง $\text{base}(a)$ ดังนั้นจะเก็บ $a[5]$ ไว้ที่ $\text{base}(a) + 4$

สามารถหาตำแหน่งที่เก็บ $a[i]$ ได้จากสูตร

$$\text{base}(a) + (i - 1)$$



รูปที่ 1-1 การเก็บแถวลำดับในหน่วยความจำ

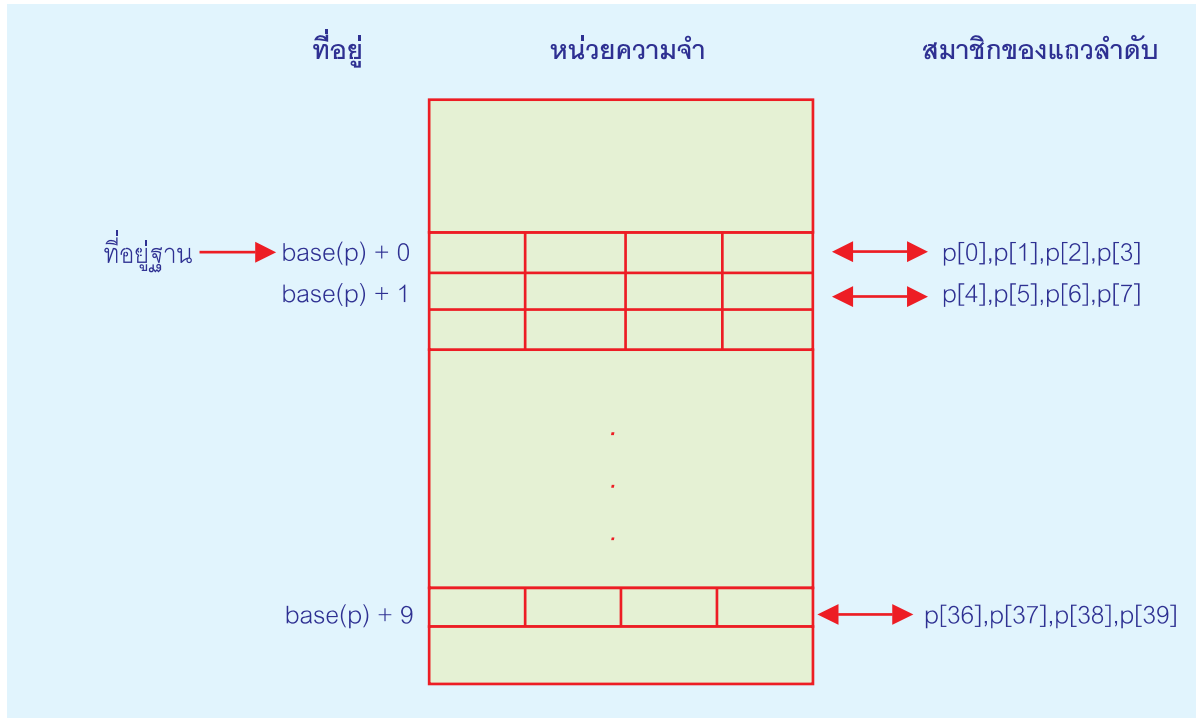
1.3 สายอักขระ (String)

ในภาษาซีใช้ array of char แทนการเก็บสายอักขระซึ่งเป็นที่เก็บชุดตัวอักขระ สามารถกำหนดแถวลำดับ p ของสายอักขระ ดังนี้

```
char p[40];
```

การกำหนด p เป็นแถวลำดับอัดแน่นนั้น ทำให้ตัวแปลภาษานำตัวอักขระหลายตัวไปเก็บไว้ในหน่วยความจำในเวอร์ตเดียวกัน เช่น เวอร์ตมีขนาด 4 ไบต์ ตัวอักขระ 4 ตัว $p[1]$ $p[2]$ $p[3]$ และ $p[4]$ เก็บไว้ในเวอร์ตแรกของหน่วยความจำ

และมีตำแหน่งที่อยู่ $\text{base}(p)$ ตัวอักขระถัดมา $p[5]$ $p[6]$ $p[7]$ และ $p[8]$ เก็บไว้ในเวิร์ดถัดไปที่ตำแหน่ง $\text{base}(p) + 1$ ซึ่งหน่วยความจำ 1 เวิร์ดมีขนาด 4 ไบต์



รูปที่ 1-2 การเก็บสายอักขระในหน่วยความจำ

การเข้าถึงสมาชิกของสายอักขระนั้นจะซับซ้อนกว่าการเข้าถึงสมาชิกของแถวลำดับทั่วไป เพราะการคำนวณที่อยู่ของสมาชิกจะยุ่งยากกว่าแบบทั่วไป นอกจากนั้นอาจจะมีการแปลงข้อมูลที่บีบอัดไว้ในหน่วยความจำ คุณสมบัตินี้ทำให้การประมวลผลสายอักขระจะใช้เวลามากกว่า การประมวลผลแถวลำดับธรรมดา

1.4 แถวลำดับหลายมิติ

แถวลำดับหลายมิติ คือ แถวลำดับที่มีตรรกะมากกว่า 1 ตัว เช่น แถวลำดับ 2 มิติ แถวลำดับ 3 มิติ แถวลำดับ 2 มิติ ใช้ในการประมวลผลข้อมูลอย่างแพร่หลาย เพราะการจัดเก็บข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบของตารางซึ่งเป็นรูปแบบแถวลำดับ 2 มิติ

ตัวอย่าง 1-1 การใช้แถวลำดับ 2 มิติ ในการเก็บข้อมูลและการประมวลผลของยอดขาย สินค้า 4 ชนิด ในแต่ละวัน ของร้านค้า 3 ร้าน ข้อมูลการขายนี้สามารถนำมาบันทึกไว้ในตารางที่ประกอบด้วย 4 แถว 3 สดมภ์ ดังนี้

	ร้านค้า		
สินค้า	0	1	2
0	150	200	70
1	50	0	30
2	120	140	290
3	10	10	20

1.4.1 การประกาศแถวลำดับ 2 มิติ

```
int saletable[4][3];
```

ตัวแปร saletable[2][1] สามารถนำไปใช้เพื่อเข้าถึงจำนวนของการขายของสินค้า 2 (แถว 2) ที่ร้านค้า 1 (สดมภ์ 1) เป็นจำนวน 140 ขึ้น

ในกรณีที่ต้องการเก็บข้อมูลการขายของแต่ละวันในสัปดาห์ ถ้าร้านเปิด 6 วัน คือ วันจันทร์ (Monday) ถึงวันเสาร์ (Saturday) ดังนั้นจึงใช้ตารางทั้งหมด 6 ตาราง

Monday

	ร้านค้า		
สินค้า	0	1	2
0	150	200	70
1	50	0	30
2	120	140	290
3	10	10	20

Tuesday

	ร้านค้า		
สินค้า	0	1	2
0	60	20	90
1	100	50	40
2	150	170	220
3	0	20	30

Saturday

สินค้า	ร้านค้า		
	0	1	2
0	80	50	10
1	70	110	0
2	340	280	170
3	20	10	0

1.4.2 การประกาศแถวลำดับ 3 มิติ

แถวลำดับ 3 มิติ ที่ใช้เก็บข้อมูลการขายในสัปดาห์ทำได้โดย

```
int sales[6][4][3];
```

การเข้าถึงสมาชิกในแถวลำดับที่เป็นการขายของ Monday แถวที่ 2 สดมภ์ที่ 1 จะได้มูลค่าการขาย คือ 140 ซึ่งสามารถเขียนแทนได้ด้วย sales[0][2][1]

1.4.3 การประกาศแถวลำดับ 5 มิติ

```
enum make {Toyota, Honda, Datsun, BMW};
enum style {Twodoor, Fourdoor, Pickup, Sedan};
enum color {Blue, Green, Red, Bronze, Gold};
enum year {2000, 2001, 2002, 2003, 2004};
typedef int inventoryarray[make, style, color, year, int];
inventoryarray inv;
```

แถวลำดับ inv อาจนำมาใช้ในโปรแกรมสต็อกสินค้าของบริษัทขายรถยนต์ เช่น

```
inv[Honda][Fourdoor][red][2003][4] = inv[Honda][Fourdoor][red][2003][4] - 1;
```

หมายถึง การที่ผู้จำหน่ายได้ขายรถยนต์ Honda 4 ประตู สีแดง ปี 2003 รหัส 4 ไปจำนวน 1 คัน ทำให้สินค้าในสต็อกมีปริมาณรถยนต์ลดลง 1 คัน

1.4.4 รูปแบบการประกาศแถวลำดับหลายมิติ

```
elementtype array [indextype1][indextype 2]..[indextypeN];
```

indextype คือ ชนิดของดรรชนี

การเก็บแถวลำดับหลายมิติในหน่วยความจำโดยสมมติว่า จำนวนเต็ม 1 ตัวเก็บไว้ในหน่วยความจำเชิงเดียว 1 เซล ดังนั้นแถวลำดับ 2 มิติ ขนาด 3×4 ที่ใช้เก็บจำนวนเต็มจึงมีผลให้เกิดการจองเนื้อที่ในหน่วยความจำ 12 ตำแหน่งเพื่อเก็บสมาชิกของแถวลำดับ ถ้าสมาชิกเหล่านี้เก็บตามลำดับที่ของแถวเป็นหลัก โดย 4 เซลแรกใช้เก็บสมาชิกในแถวแรกทั้งหมดของ m และ 4 เซลต่อไปใช้เก็บสมาชิกในแถวที่ 2 ทั้งหมดต่อไปตามลำดับ

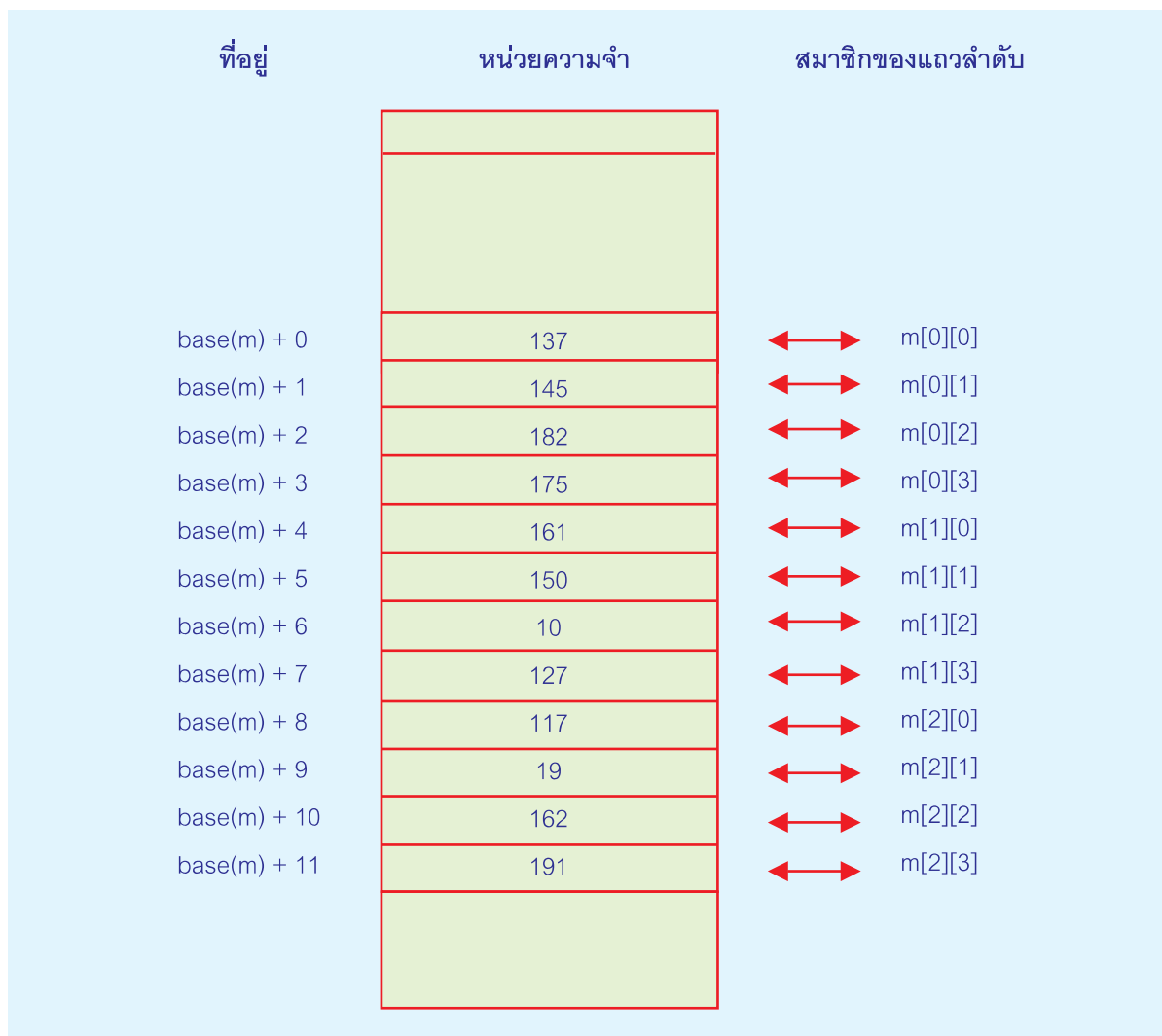
กำหนดให้ m เป็นแถวลำดับ 2 มิติ ที่ใช้เก็บจำนวนเต็ม

สามารถประกาศแถวลำดับ m ดังนี้

```
int m[3][4];
```

แถวลำดับที่กล่าวมาอาจใช้เก็บข้อมูล ดังนี้

137	145	182	175
161	150	10	127
117	19	162	191



รูปที่ 1-3 แสดงการเก็บข้อมูลในหน่วยความจำแบบแถวหลัก

การเก็บข้อมูลแบบตามลำดับในสตมภ์เป็นหลัก ซึ่งเก็บข้อมูลในสตมภ์แรกไว้ใน 3 เซลแรก และเก็บข้อมูลในสตมภ์ที่ 2 ไว้ใน 3 เซลถัดไป ดังรูปที่ 1-4

ที่อยู่	หน่วยความจำ	สมาชิกของแถวลำดับ
$\text{base}(m) + 0$	137	$\longleftrightarrow m[0][0]$
$\text{base}(m) + 1$	161	$\longleftrightarrow m[1][0]$
$\text{base}(m) + 2$	117	$\longleftrightarrow m[2][0]$
$\text{base}(m) + 3$	145	$\longleftrightarrow m[0][1]$
$\text{base}(m) + 4$	150	$\longleftrightarrow m[1][1]$
$\text{base}(m) + 5$	19	$\longleftrightarrow m[2][1]$
$\text{base}(m) + 6$	182	$\longleftrightarrow m[0][2]$
$\text{base}(m) + 7$	10	$\longleftrightarrow m[1][2]$
$\text{base}(m) + 8$	162	$\longleftrightarrow m[2][2]$
$\text{base}(m) + 9$	175	$\longleftrightarrow m[0][3]$
$\text{base}(m) + 10$	127	$\longleftrightarrow m[1][3]$
$\text{base}(m) + 11$	191	$\longleftrightarrow m[2][3]$

รูปที่ 1-4 แสดงการเก็บข้อมูลในหน่วยความจำแบบสตมภ์หลัก

สำหรับการเข้าถึงข้อมูลในแถวลำดับ 2 มิติ แบบสตมภ์นั้น ใช้วิธีการเดียวกับการเข้าถึงข้อมูลของแถวลำดับ 2 มิติ แบบแถวหลัก

แบบฝึกหัดบทที่ 1

- จากข้อความที่กำหนดให้ดังต่อไปนี้จงบอกว่าข้อใดควรใช้ตัวแปรแถวลำดับในการแก้ปัญหา
 - คำนวณผลบวกของตัวเลขอนุกรม
 - หาตัวเลขมากที่สุดอันดับสองจากข้อมูลนำเข้าที่เรียงลำดับ
 - อ่านจำนวน 200 จำนวน และให้เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย
 - อ่านจำนวนเต็ม 200 จำนวน และพิมพ์จำนวนเลขทั้งหมดที่มีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดให้
- จงเขียนโปรแกรมเพื่อนับจำนวนความถี่ของตัวอักษรภาษาอังกฤษในข้อมูลนำเข้าและเขียนข้อมูลส่งออกเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งคำนวณได้จากจำนวนความถี่ของตัวอักษรแต่ละตัวหารด้วยจำนวนตัวอักษรทั้งหมดในข้อมูลนำเข้า
- จงเขียนโปรแกรมที่สามารถบวกจำนวนเต็มที่มีความยาวสูงสุดขนาด 300 หลัก วิธีการ คือ เก็บจำนวนไว้ในแถวลำดับ (block) ซึ่งสมาชิกแต่ละตัวของแถวลำดับเป็นที่เก็บของตัวเลขของจำนวนเต็ม 3 ตัว เช่น จำนวนเต็ม 179, 534, 672, 198 เก็บไว้ที่ $\text{block}[1] = 198$, $\text{block}[2] = 672$, $\text{block}[3] = 534$, $\text{block}[4] = 179$ สำหรับการบวกจำนวนเต็ม 2 จำนวน ทำโดยบวกสมาชิกของแถวลำดับทีละช่อง และ มีการนำตัวทดไปบวกที่ช่องอันดับถัดไป

บทที่ 2

รายการ

2.1 บทนำ

รายการ (list) เป็นโครงสร้างข้อมูลชนิดหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการเขียนโปรแกรมในงานประเภทต่างๆ เพราะการใช้งานรายการทำได้สะดวก โดยทั่วไปแล้วสามารถเพิ่มและลบข้อมูลได้ทุกส่วนของรายการ บทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของรายการและการนำรายการไปใช้งาน

2.1.1 การทำงานของรายการแบบลำดับ

เราสามารถพบรายการได้ในชีวิตประจำวัน เช่น รายการของนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียน รายการของสินค้า รายการของพนักงานในบริษัท รายการของที่นั่งโรงภาพยนตร์ ในกรณีของโครงสร้างข้อมูล รายการ คือ ชุดของสมาชิกที่มีขนาดจำกัด ถึงแม้ว่าการทำงานของรายการนั้นแตกต่างกันไปตามลักษณะการประยุกต์ใช้งาน เราสามารถรวบรวมการทำงานพื้นฐานของรายการได้ ดังนี้

1. การสร้างรายการว่าง
2. การทดสอบว่ารายการว่างหรือไม่
3. การท่องไปในรายการ หรือ ส่วนของรายการ โดยมีการเข้าถึงสมาชิก และประมวลผลสมาชิกในแบบตามลำดับ
4. การเพิ่มสมาชิกใหม่ลงในรายการ
5. การลบสมาชิกออกจากรายการ

2.1.2 ฟังก์ชันที่ใช้ดำเนินงานกับรายการ

กำหนดให้รายการประกอบด้วยสมาชิกที่เรียงลำดับ

ฟังก์ชัน createlist

หน้าที่	สร้างรายการว่าง
ผลลัพธ์	รายการว่าง

ฟังก์ชัน emptyList

ข้อมูลนำเข้า	รายการ
หน้าที่	ทดสอบว่ารายการว่าง
ผลลัพธ์	เป็นจริง ถ้ารายการว่าง เป็นเท็จ ถ้ารายการไม่ว่าง

ฟังก์ชัน traverse

ข้อมูลนำเข้า	รายการ
หน้าที่	ท่องไปในรายการเพื่อ เข้าถึงและประมวลผลสมาชิกของรายการตามลำดับ
ผลลัพธ์	ขึ้นกับการประมวลผล

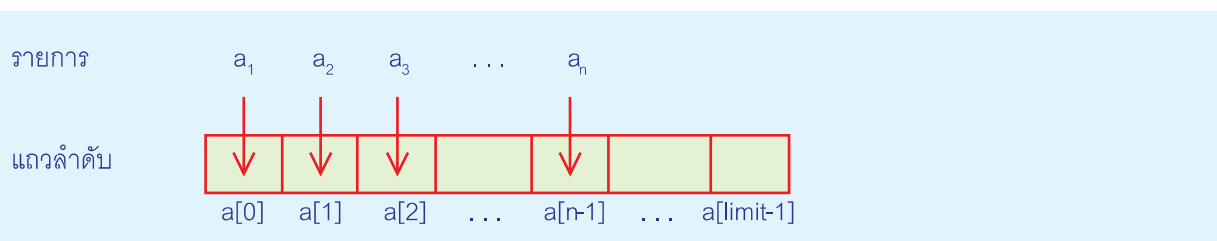
ฟังก์ชัน insert

ข้อมูลนำเข้า	รายการ ข้อมูล และตำแหน่งของรายการ
หน้าที่	เพิ่มข้อมูลลงไปในการรายการบริเวณตำแหน่งที่ต้องการ
ผลลัพธ์	รายการที่มีการเปลี่ยนแปลง

ฟังก์ชัน delete

ข้อมูลนำเข้า	รายการและตำแหน่งในรายการ
หน้าที่	ลบสมาชิกในการรายการบริเวณตำแหน่งที่ต้องการ
ผลลัพธ์	รายการที่มีการเปลี่ยนแปลง

เราสามารถใช้แถวลำดับเป็นที่เก็บข้อมูลของรายการซึ่งประกอบด้วยสมาชิกที่เรียงลำดับ โดยสมาชิกตัวแรกอยู่ที่ช่องที่ 0 ของแถวลำดับ สมาชิกตัวที่ 2 อยู่ที่ช่องที่ 1 ตามลำดับ



สามารถกำหนดรายการในภาษาซีได้โดยใช้คำสั่งดังนี้

```
# define LIMIT 100                /* กำหนดให้LIMIT มีค่าเป็น100 */

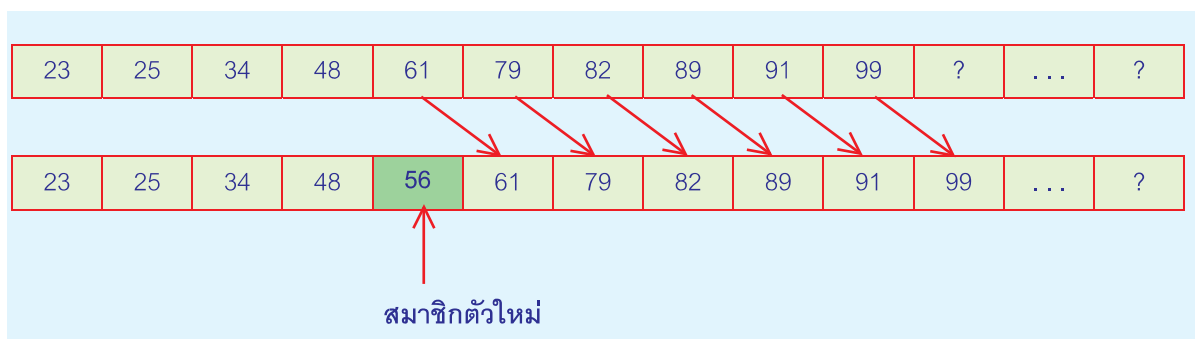
struct listType {
    int size;
    int listElement[LIMIT];
};

struct listType list;
int emptyList;
list.size = 0 ;                  /* กำหนดให้รายการว่าง */
emptyList = (list.size == 0)     /* ทดสอบว่ารายการว่าง ตัวแปร emptyList จะให้ค่าเป็นจริง
                                หรือ เท็จ */

/* การเขียนข้อมูลภายในรายการทำได้โดยใช้คำสั่งวนซ้ำ for */
int i;
for (i=0; i <= list.size-1; i++)
    printf("%d\n", list.listElement[i]);
```

ตัวอย่าง 2-1 การใส่จำนวนเต็ม 56 เข้าไปในรายการซึ่งเก็บข้อมูลในแถวลำดับ ตำแหน่งที่อยู่ถัดจากสมาชิกที่มีค่า 48 เนื่องจากแถวลำดับเป็นโครงสร้างที่สามารถบรรจุข้อมูลได้มีขนาดจำกัด เช่นกำหนด listElement มีขนาด 100 เมื่อแถวลำดับมีสมาชิกบรรจุอยู่เต็มแล้วจึงไม่สามารถใส่สมาชิกตัวใหม่ลงไปได้ ก่อนใส่สมาชิกลงในแถวจะต้องมีการทดสอบว่าแถวลำดับเต็มหรือไม่ในที่นี้ โดยใช้โหนด listError เป็นตัวบอกว่าแถวลำดับเต็ม

ก่อนเพิ่มสมาชิกลงในส่วนกลางของแถวลำดับนั้น ต้องมีการเลื่อนสมาชิกของแถวลำดับทั้งหมดที่อยู่ตำแหน่งหลังจากสมาชิก 48 ไปในช่องถัดไปเพื่อจะได้มีที่ว่างสำหรับสมาชิกใหม่ของแถวลำดับโดยข้อมูลภายในมีค่า เรียงลำดับ



การเพิ่มสมาชิกให้กับรายการ

```
/* เลื่อนสมาชิกของแถวลำดับไปทางขวา 1 ช่อง เพื่อให้มีช่องว่างสำหรับ item */
/* pos เป็นตำแหน่งข้อมูลตัวสุดท้ายของรายการ */

for (i = list.size; i > pos; i--)
    listElement[i] = list.listElement[i-1] ;

/* ใส่ item ไปที่ตำแหน่ง pos + 1 และเพิ่มขนาดของรายการ */

list.listElement[pos] = item ;
list.size++ ;
```

ประสิทธิภาพการทำงานของฟังก์ชัน insert นี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่จะเพิ่มสมาชิกใหม่ ถ้ามีการเพิ่มสมาชิกบริเวณท้ายสุดของรายการจะไม่มี การเลื่อนตำแหน่งสมาชิก การดำเนินงานก็จะทำได้เร็วกว่า การเพิ่มสมาชิกตัวใหม่ บริเวณส่วนกลางของรายการ เพราะต้องใช้เวลาในการเลื่อนสมาชิกไปที่ช่องถัดไป

ตัวอย่าง 2-2 การลบ 25 ออกจากรายการ

รายการสภาพเดิม

23	25	34	48	56	61	79	82	89	91	99
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

ผลที่ได้

23	34	48	56	61	79	82	89	91	99	
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	--

การลบสมาชิกออกจากรายการ

```
/* เลื่อนสมาชิกของแถวลำดับไปทางซ้ายเพื่อปิดช่องว่าง */

for (i = pos; i < list.size - 1; i++)
    list.listElement[i] = list.listElement[i+1];

/* ลดขนาดของรายการ */

list.size--;
```

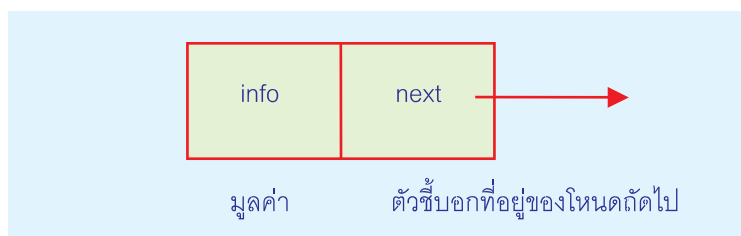
การลบสมาชิกออกจากรายการแบบลำดับมีประสิทธิภาพการทำงานเช่นเดียวกับการเพิ่มสมาชิกในรายการ คือขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสมาชิกที่ต้องการลบ การลบสมาชิกที่ส่วนท้ายหรือส่วนหัวจะทำได้เร็วกว่า ลบสมาชิกที่ส่วนกลางของรายการ

การทำงานของรายการที่ได้กล่าวไปแล้วเป็นโครงสร้างข้อมูลแบบสถิต (static) ซึ่งมีข้อจำกัดในการทำงาน คือเมื่อลบหรือเพิ่มสมาชิกบริเวณส่วนต้นหรือกลางของรายการทำให้มีการเลื่อนตำแหน่งของสมาชิกซึ่งทำให้การประมวลผลใช้เวลาในการทำงานมาก จึงมีการพัฒนารายการโยงที่มีโครงสร้างข้อมูลแบบพลวัต (dynamic) ที่สามารถลบและเพิ่มข้อมูลบริเวณใด ๆ ของรายการได้สะดวกและรวดเร็วกว่าแบบสถิต

2.2 รายการโยง (Linked List)

2.2.1 โครงสร้างของรายการโยง

รายการโยง ประกอบด้วยกลุ่มของโหนด ซึ่งแต่ละโหนดประกอบด้วยเขตข้อมูลอย่างน้อย 2 เขต (field) ในเขตข้อมูลแรกเป็นที่เก็บข้อมูลของผู้ใช้ เขตนี้เป็นที่รู้จักในชื่อของ info สำหรับเขตที่สองประกอบด้วยตัวชี้หรือรายการโยง ซึ่งบอกถึงที่อยู่ของโหนดถัดไปในรายการ เขตนี้จึงนิยมตั้งชื่อว่า next สามารถเขียนโหนดของรายการโยงได้ดังรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 แสดงโหนดของรายการโยง

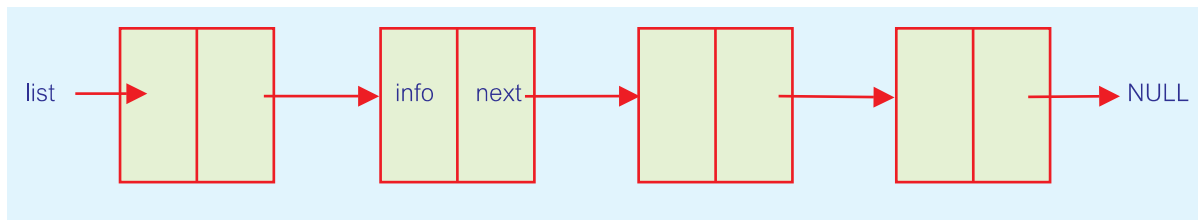
ข้อมูลที่สามารถบรรจุในเขตข้อมูล info อาจจะเป็นจำนวนเต็ม จำนวนจริง ตัวอักษร สายอักขระ หรือระเบียบที่มีหลายเขต ดังตัวอย่าง 2-3

รายการโยงแบบลำดับประกอบด้วยโหนดที่มีการจัดอันดับเรียงตามมูลค่าภายในของโหนด

ตัวอย่าง 2-3 สมาชิกของรายชื่อนักศึกษาโดยภาษาซีดังนี้

```
struct infotype {
    char studentName[20];
    int studentID;
    float gpa;
    char streetAddr[20];
    char state[20];
};
```

ในรายการโยงส่วน info ของโหนดเป็นระเบียบ การเรียงลำดับของโหนดสามารถพิจารณาจากเขตในระเบียบรายชื่อของนักศึกษา และสามารถจัดลำดับรายชื่อโดยใช้มูลค่าภายในซึ่งเป็นเขตรหัสนักศึกษา หรือ ชื่อนักศึกษาเป็นหลัก การนำรายการโยงไปใช้ในงานต่าง ๆ นี้ จะกล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 2-2 รายการโยงที่ประกอบด้วย 4 โหนด

list เป็นตัวชี้ที่บอกอยู่ของโหนดแรกในรายการโยง ซึ่งแต่ละโหนดประกอบด้วย 2 เขตข้อมูลดังรูปที่ 2-2

บริเวณปลายสุดของรายการโยงในเขต next ประกอบด้วยข้อมูลที่บอกการสิ้นสุดของรายการ ข้อมูลนี้ เรียกว่า NULL ซึ่งปราศจากเลขที่อยู่

2.2.2 การประกาศรายการโยงในภาษาซี

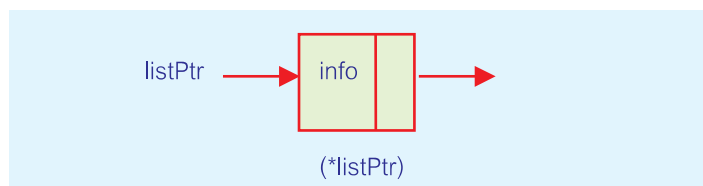
การประกาศรายการโยงรายการทำได้ โดยกำหนดโหนดชนิดตัวชี้ซึ่งเป็นการจองเนื้อที่ในหน่วยความจำแบบพลวัต แต่การประกาศแกลวลำดับและระเบียบ ซึ่งเป็นโหนดสถิติมีการจองเนื้อที่ในหน่วยความจำเท่ากับขนาดของโหนดในขั้นตอนแปลชุดคำสั่ง และเนื้อที่นี้ไม่สามารถนำมาใช้สำหรับโหนดอื่น ๆ การใช้แกลวลำดับนั้นนักเขียนโปรแกรมจะประมาณขนาดสูงสุดของข้อมูลที่จะนำมาใช้ และประกาศขนาดของแกลวลำดับ ในการดำเนินงานแกลวลำดับที่ไม่มีข้อมูลบรรจุอยู่จะใช้เนื้อที่ในหน่วยความจำเท่ากับแกลวลำดับที่มีข้อมูลบรรจุอยู่เต็ม การจองเนื้อที่ของแกลวลำดับจะกระทำก่อนการนำโหนดสถิติมาใช้ ถ้านักเขียนโปรแกรมกำหนดแกลวลำดับให้มีขนาดใหญ่เกินไป อาจทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อที่ในหน่วยความจำ แต่ถ้าหากกำหนดแกลวลำดับเล็กขนาดเกินไป เนื้อที่ของแกลวลำดับอาจจะไม่พอในการรองรับข้อมูลใหญ่ จึงต้องปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถรองรับการขยายขนาดของแกลวลำดับเพื่อใช้ในการดำเนินงาน

ภาษาซีมีกระบวนการในการสร้างโหนดแบบพลวัต ซึ่งโหนดจะใช้เนื้อที่ในหน่วยความจำในขั้นตอนของการปฏิบัติงานของโปรแกรม และโหนดถูกสร้างขึ้นหรือทำลายได้ตลอดเวลาในขณะการทำงานของโปรแกรม ดังนั้นโหนดใช้เนื้อที่ในหน่วยความจำเมื่อมีการดำเนินงานของโหนดเท่านั้น

```
/* กำหนดโครงสร้างที่ชี้ไปตัวเอง */
struct listNode{
    char info;
    struct listNode *nextPtr;
};
typedef struct listNode LISTNODE;
typedef LISTNODE *LISTNODEPTR;
```


2.2.3 การนำตัวชี้มาใช้งาน

การเขียนชื่อตัวชี้พร้อมสัญลักษณ์ * และตามด้วยชื่อโหนดจะแทนข้อมูลซึ่งตัวชี้จะชี้ไป เช่น จากการประกาศชนิดตัวชี้ของ `listNode` การเขียน `nextPtr` อ้างถึงที่อยู่ของโหนดหนึ่ง ในรายการที่ตัวชี้ `nextPtr` ชี้ไปถึง อย่างไรก็ตาม `listPtr` นั้นแตกต่างจาก `(*listPtr)` เพราะ `listPtr` คือตัวชี้ที่อ้างถึงเลขที่อยู่ แต่ `(*listPtr)` คือ ข้อมูลที่ถูกชี้ (info) ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 แสดงรายการ และระเบียบของรายการ

นอกจากการชี้ไปที่ระเบียบแล้ว สามารถชี้ไปที่เขตต่าง ๆ ของระเบียบ ได้โดยใช้ตัวชี้
ดังรูปแบบ :

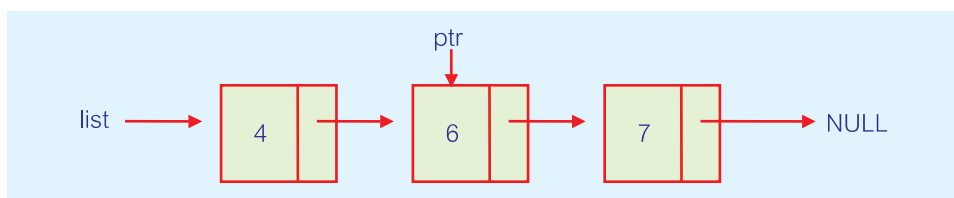
ชื่อตัวชี้ -> ชื่อเขต

เช่น `printf("%c\n", (*listPtr)->info);` เป็นคำสั่งให้พิมพ์ค่าภายในของเขตข้อมูล `info` อยู่ในโหนดที่ชี้โดย `listPtr` จึงสามารถเห็นถึงความแตกต่างของ `*listPtr` ซึ่งหมายถึงทั้งระเบียบ ขณะที่ `(*listPtr)->info` คือเขตข้อมูลของระเบียบชื่อ `info`

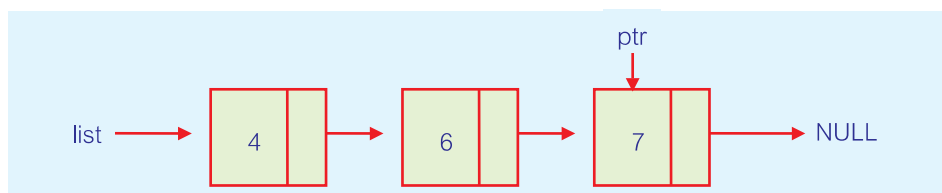
2.2.4 การจัดการกับโหนดชนิดตัวชี้

การทำงานของตัวชี้มีหลายวิธีดังนี้

กำหนดให้ `ptr` และ `ptr -> nextPtr` เป็นตัวชี้ชนิด Pointer

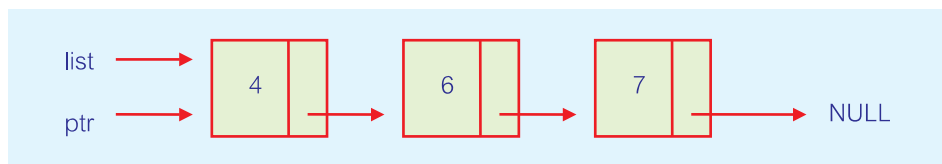


(a) `list` และ `ptr` เป็นตัวชี้ โดย `list` ชี้ไปที่โหนดแรก และ `ptr` ชี้ไปที่โหนดที่สอง

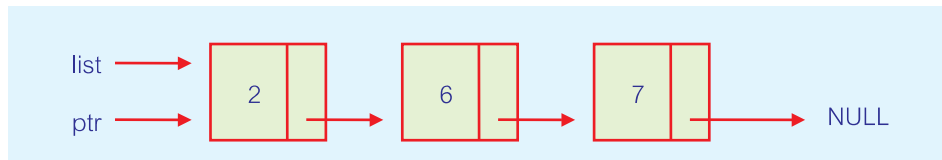


(b) การสั่งให้ `ptr` ชี้ไปที่โหนดถัดไป โดยใช้คำสั่ง `ptr = ptr -> nextPtr;`

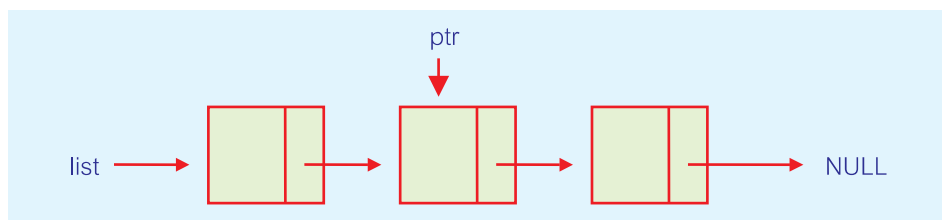
รูปที่ 2-4 การดำเนินงานของตัวชี้



(c) การสั่งให้ ptr ชี้ไปที่โหนดแรกของรายการ โดยใช้คำสั่ง `ptr = list;`



(d) ให้มูลค่าของเขต Info ในโหนดแรกของรายการมีค่าเท่ากับ 2 โดยใช้คำสั่ง `list->info = 2;`

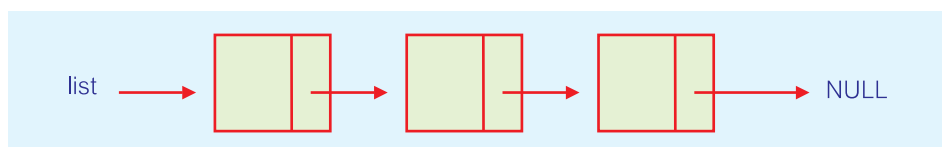


(e) ให้ ptr ชี้ไปที่โหนดที่สองในรายการ โดยใช้คำสั่ง `ptr = list->nextPtr`

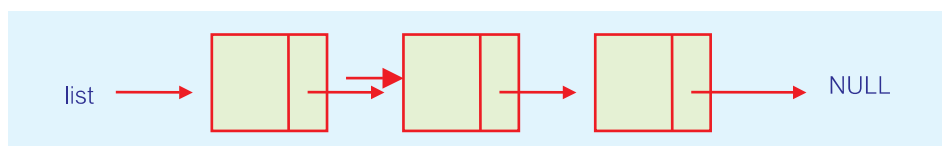
list ชี้ไปที่โหนดแรก สำหรับ `list->next` เป็นตัวชี้ที่ชี้ไปที่โหนดที่สอง ดังนั้น ptr จึงรับค่าภายในตัวชี้ซึ่งเป็นเลขที่อยู่โหนดที่ 2 ของ `list->next`

รูปที่ 2-4 การดำเนินงานของตัวชี้ (ต่อ)

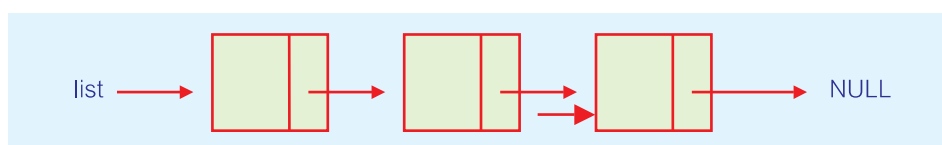
2.2.5 การเรียกใช้ตัวชี้ที่ตำแหน่งต่างๆในรายการโยง



(a) list ชี้ไปที่โหนดแรกของรายการ



(b) `list->nextPtr` ชี้ไปที่โหนดที่ 2 ของรายการ



(c) `list->nextPtr->nextPtr` ชี้ไปที่โหนดที่ 3 ของรายการ

รูปที่ 2-5 แสดงการเรียกใช้ตัวชี้ด้วยวิธีต่างกัน