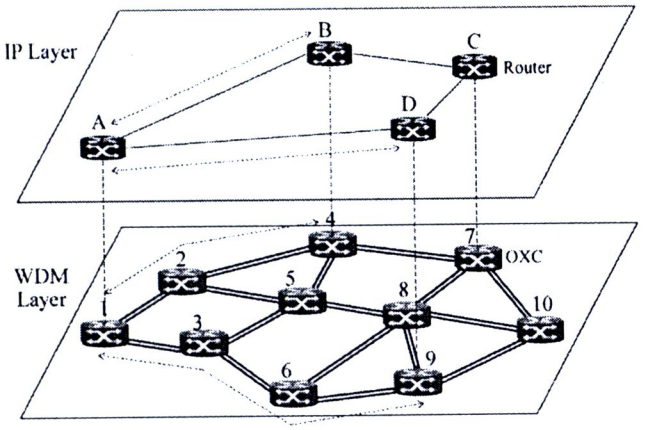
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและปริทัศน์วรรณกรรม

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงหลักการทำงานของโครงข่าย IP over WDM และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้ หัวข้อ 2.1 กล่าวถึงโครงสร้างของโครงข่าย หัวข้อ 2.2 กล่าวถึงหลักการวางแผนโครงข่าย IP over WDM หัวข้อ 2.3 กล่าวถึงกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย และหัวข้อ 2.4 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างโครงข่าย IP over WDM

โครงข่าย IP over WDM (IP over Wavelength Division Multiplexing (WDM) networks) เป็นโครงข่ายเสมือนที่ก่อนรูปขึ้นเพื่อส่งทราฟฟิกไอพีไปบนโครงข่ายการมัลติเพล็กซ์เชิงความยาวคลื่น (WDM networks) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.1 โดยที่โครงข่ายเสมือนจัดเป็นการเชื่อมต่อในชั้นไอพีสำหรับการส่งทราฟฟิกไอพีระหว่างเราเตอร์ต้นทาง (source router) กับเราเตอร์ปลายทาง (destination router) ส่วนการเชื่อมต่อในทางกายภาพเป็นโครงสร้างของโครงข่ายการมัลติเพล็กซ์เชิงความยาวคลื่น ซึ่งเป็นโครงข่ายใยแก้วนำแสง (optical networks) ที่ใช้แนวคิดของการหาเส้นทางในการส่งความยาวคลื่นผ่านโนดที่เรียกว่า Optical Cross Connect (OXC) ซึ่งเชื่อมต่อโดยข่ายเชื่อมโยงใยแก้วนำแสง (optical fiber links) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นโครงข่ายที่มีรูปร่างแบบตาข่าย (mesh topology) รูปแบบของการเชื่อมต่อประเภทนี้จะดำเนินการโดยใช้เส้นทางแสง (lightpath) ในการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายใยแก้วนำแสง

รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างโครงข่ายเสมือนของชั้นไอพีกับโครงข่ายทางกายภาพของชั้นการมัลติเพล็กซ์เชิงความยาวคลื่น โดยแสดงตัวอย่างเส้นทางในการส่งทราฟฟิกไอพีระหว่างคู่โนด (A, D) ของโครงข่ายชั้นไอพี ซึ่งมีเส้นทางที่สามารถเลือกส่งได้ผ่านชั้นโครงข่ายใยแก้วนำแสงได้แก่ เส้นทางที่ผ่านข่ายเชื่อมโยง (1,3)-(3,6)-(6,9) หรือ เส้นทางที่ผ่านข่ายเชื่อมโยง (1,2)-(2,5)-(5,8)-(8,9) เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แบบจำลองโครงข่าย IP over WDM

2.2 การวางแผนโครงข่าย IP over WDM

การวางแผนโครงข่าย IP over WDM (IP over WDM network planning) ในงานวิจัยนี้พิจารณาการวางแผนการใช้งานแบนด์วิดท์ในโครงข่าย ซึ่งแบนด์วิดท์หรือความจุเป็นทรัพยากรที่มีจำกัด ดังนั้นจึงต้องมีการจัดสรรการใช้งานอย่างเหมาะสม จึงจะทำให้เกิดการใช้งานทรัพยากรโครงข่ายอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ

ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการวางแผนการใช้งานแบนด์วิดท์หรือความจุของโครงข่าย IP over WDM ได้แก่ ปริมาณทราฟฟิกระหว่างโนดต่างๆในโครงข่าย ข้อจำกัดทางกายภาพของโครงข่าย เช่น การเชื่อมต่อของข่ายเชื่อมโยงใยแก้วนำแสง แบนด์วิดท์หรือความจุของข่ายเชื่อมโยง และการ์ดที่ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไอพี เป็นต้น นอกจากนี้ควรพิจารณาข้อกำหนดการทำงาน การควบคุมอุปกรณ์โครงข่ายใยแก้วนำแสง และการสื่อสารข้อมูลไอพีด้วย

การวางแผนแผนการใช้งานแบนด์วิดท์หรือความจุของโครงข่าย IP over WDM เป็นการกำหนดเส้นทาง และจัดสรรความจุของข่ายเชื่อมโยงให้กับทราฟฟิกที่ต้องการส่งผ่านโครงข่าย ซึ่งกระบวนการนี้อาจทำไว้ล่วงหน้าและกำหนดเส้นทางการส่งแบบคงที่ (static) หรือทำทันทีเมื่อมีความต้องการส่งทราฟฟิก และสามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางได้ตามลักษณะทราฟฟิกที่เปลี่ยน แปลง (dynamic)

ในการกำหนดขนาดความจุที่จะจองให้สำหรับรองรับทราฟฟิกของข่ายเชื่อมโยงนั้น ควรพิจารณาลักษณะความไม่แน่นอนของทราฟฟิกด้วย (traffic uncertainty) เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการส่งระหว่างโนดในโครงข่ายจะมีความแปรปรวน เปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนผู้ใช้ และช่วงเวลาการใช้งาน เช่นในช่วงเวลาเร่งด่วนจะมีปริมาณทราฟฟิกมากกว่าเวลารุ่งเช้า

การวางแผนการใช้งานแบนด์วิดท์ในโครงข่าย IP over WDM ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบโครงข่ายเสมือน (virtual network) ซึ่งเป็นโครงข่ายที่ซ้อนอยู่ในโครงข่ายในทางกายภาพ (physical network) ที่เป็นโครงข่ายใยแก้วนำแสง โดยการออกแบบโครงข่ายเสมือนเป็นการกำหนดเส้นทางและจัดสรรความจุของข่ายเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อโนดต้นทาง (source node) ผ่านโนดต่างๆในโครงข่ายใยแก้วนำแสงไปจนถึงโนดปลายทาง (destination node)

2.3 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

โครงข่ายแกนหลักที่ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไอพีบนระบบส่งสัญญาณใยแก้วนำแสงเช่น เทคโนโลยี IP over WDM [1] เป็นการใช้งานแบบที่ไม่มีการจองแบนด์วิดท์แบบถาวรสำหรับสร้างเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างโหนดภายในเครือข่ายสื่อสาร แต่จะทำการสร้างเส้นทางและจองแบนด์วิดท์เป็นครั้งคราวตามความต้องการของทราฟฟิก (traffic demand) โดยที่ปริมาณของทราฟฟิกในช่วงเวลาต่างๆก็อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ลักษณะดังกล่าวเรียกว่า ความไม่แน่นอนของทราฟฟิก (traffic uncertainty) ซึ่งทำให้เกิดความไม่แน่นอนของขนาดแบนด์วิดท์ที่ต้องใช้ในเส้นทางสื่อสารที่เชื่อมระหว่างโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง งานวิจัย [2,3] ทำการสังเกต เก็บข้อมูล และวิเคราะห์ทราฟฟิกไอพีในโครงข่ายแกนหลักทางสถิติ พบว่าเมื่อทราฟฟิกจากหลายเส้นทางมาผ่านข่ายเชื่อมโยง (link) เดียวกัน ซึ่งเรียกว่า ทราฟฟิกที่รวมตัวกัน (aggregated traffic demand) ทราฟฟิกที่รวมตัวกันดังกล่าวมีลักษณะการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) [2,3] ดังนั้นการวางแผนเส้นทางสำหรับโครงข่ายที่รองรับทราฟฟิกที่มีลักษณะดังกล่าว หากใช้วิธีการที่พิจารณาเฉพาะค่าเฉลี่ยของทราฟฟิก (mean traffic value) ก็อาจทำให้แบนด์วิดท์ที่จองให้กับเส้นทางสื่อสารไม่เพียงพอที่จะรองรับกรณีที่ทราฟฟิกแปรปรวนจนอาจมีปริมาณทราฟฟิกสูงเกินกว่าขนาดแบนด์วิดท์ที่จองไว้ ส่วนวิธีการที่พิจารณาค่าสูงสุดของ ทราฟฟิก (peak traffic value) จะมีการจองแบนด์วิดท์ไว้เท่ากับค่าสูงสุดของทราฟฟิกตามสถิติ ซึ่งขนาดของแบนด์วิดท์ดังกล่าวอาจมากกว่าขนาดของแบนด์วิดท์ที่ใช้ในวิธีที่พิจารณาค่าเฉพาะค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกอยู่มาก แต่โอกาสที่ทราฟฟิกจะมีระดับสูงขนาดนั้นเป็นไปได้น้อย ดังนั้นการจองแบนด์วิดท์เท่ากับค่าสูงสุดของ ทราฟฟิกจึงเป็นการใช้งานทรัพยากรโครงข่ายซึ่งในที่นี้คือแบนด์วิดท์อย่างไม่คุ้มค่า ดังนั้นในการกำหนดเส้นทางและจองแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมที่สุดในกับทราฟฟิกในโครงข่ายแกนหลักที่รองรับทราฟฟิกไอพีด้วยเทคโนโลยี IP over WDM จึงต้องคำนึงถึงลักษณะทางสถิติของทราฟฟิกที่รวมตัวกัน โดยพิจารณาค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความแปรปรวน (variance) ของทราฟฟิก และไม่ทำการจองแบนด์วิดท์มากเกินความจำเป็น แต่สามารถกำหนดระดับการรับประกัน (guarantee level) ในการจองแบนด์วิดท์ที่

เพียงพอเพื่อให้สามารถรองรับความแปรปรวนของทราฟฟิกได้ ซึ่งเป็นแนวทางการวางแผนโครงข่ายที่รวมอยู่ในสมการคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นสมการคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นเลขจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming: ILP) ดังรายละเอียดที่นำเสนอในบทที่ 3

2.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา การวางแผนโครงข่ายที่เน้นวิธีการกำหนดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดให้กับทราฟฟิกในโครงข่ายแกนหลักส่วนมากเสนอวิธีการที่ใช้ Deterministic approaches ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธี (algorithms) หรือ แบบจำลองคณิตศาสตร์ (mathematical models) ที่มีสมมติฐานว่าผู้วางแผนโครงข่ายรู้ปริมาณที่แน่นอนของทราฟฟิกภายในโครงข่าย โดยทำการสร้างเส้นทางและจองแบนด์วิดท์ไว้แบบถาวร แนวทางดังกล่าวไม่ได้พิจารณาความแปรปรวนหรือความไม่แน่นอนของทราฟฟิกซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของทราฟฟิกที่ส่งผ่านระบบสื่อสารภายในโครงข่ายแกนหลักที่ใช้เทคโนโลยีแบบ IP over WDM ในงานวิจัย [4,5] ได้ใช้ค่าเฉลี่ยของทราฟฟิก (mean traffic value) ในการระบุปริมาณของทราฟฟิกในแบบจำลองคณิตศาสตร์ ส่วนงานวิจัย [6,7] ได้ใช้ค่าสูงสุดของทราฟฟิก (peak traffic value) เพื่อรับประกันการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิก ณ เวลาที่ทราฟฟิกในโครงข่ายมีความหนาแน่นสูงที่สุด อย่างไรก็ตามการใช้ค่าเฉลี่ยหรือค่าสูงสุดของทราฟฟิกในการวางแผนโครงข่ายประเภทที่ทราฟฟิกมีลักษณะแปรปรวนอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการจัดสรรแบนด์วิดท์คืออาจมีการจองแบนด์วิดท์มากเกินความจำเป็นหรือน้อยกว่าที่ควรจะเป็น [8]

งานวิจัยแนวทางอื่นที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนโครงข่ายแกนหลักได้แก่งานวิจัยที่มีการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของทราฟฟิก เช่น งานวิจัย [9] ได้เสนอการวิเคราะห์ความไว (sensitivity analysis) ในการวางแผนโครงข่ายซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆในปัญหาที่พิจารณา ส่วนงานวิจัย [10,11] ได้มีการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย และได้มีการใช้ค่าส่วนเผื่อที่คงที่ (fixed margin) เพื่อรองรับความแปรปรวนของทราฟฟิกที่อาจเกิดขึ้น โดยในงานวิจัย [11] ได้พิจารณาการวางแผนโครงข่าย ATM ซึ่งได้มีการใช้ค่าส่วนเผื่อที่คงที่ในแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อรับประกันอัตราการปฏิเสธการใช้ช่องสัญญาณเนื่องจากแบนด์วิดท์อาจถูกจองไว้หมดแล้ว วิธีการใช้ค่าส่วนเผื่อที่คงที่นี้ถือว่าเป็นวิธีเสมือน Deterministic approaches ดังกล่าวแล้วข้างต้น เพราะยังไม่ได้มีการพิจารณาความไม่แน่นอนหรือความแปรปรวนของทราฟฟิกโดยการใช้ตัวแปรทางสถิติอื่นๆในการกำหนดลักษณะความแปรปรวนของไอพีทราฟฟิก

นอกจากนี้ได้มีงานวิจัยที่ให้ความสนใจในการศึกษาการวางแผนโครงข่ายและวิศวกรรมทราฟฟิกสำหรับโครงข่าย IP over WDM เช่น ในงานวิจัย [12] ได้ทำการวิเคราะห์เรื่องค่าใช้จ่ายและความน่าเชื่อถือในการออกแบบโครงข่ายแกนหลักของ IP over WDM และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงข่ายเสมือนสำหรับโครงข่าย IP over WDM เช่น ในงานวิจัย [13] ได้เสนอการออกแบบโครงข่ายเสมือนที่ดีที่สุดด้วยข้อจำกัดของคุณภาพของการให้บริการ (QoS) ที่มีการรับประกันความต้องการ QoS แบบ end-to-end เช่นการรับประกันอัตราการเกิดการบล็อก โดยในการกำหนดค่าของเครือข่ายเสมือนนั้นจะมีการตั้งค่าสำหรับแต่ละชั้นของการบริการเพื่อที่จะลดต้นทุนของโครงข่าย ส่วนในงานวิจัย [14] ได้เสนอการกำหนดเส้นทางแสงของโครงข่ายใยแก้วนำแสง เพื่อเพิ่มความมั่นคงของการส่งทราฟฟิกของโครงข่ายเสมือน โดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรเครือข่ายให้มากที่สุดทั้งก่อนและหลังเหตุการณ์ข่ายเชื่อมโยงชำรุด

แม้ว่างานวิจัยดังกล่าว จะมีความสำคัญและแสดงแนวทางที่น่าสนใจ แต่ไม่ได้พิจารณา ประเด็นเรื่องความไม่แน่นอนของทราฟฟิก ซึ่งก็มีบางงานวิจัยให้ความสนใจเกี่ยวกับความไม่แน่นอนของทราฟฟิกในการวางแผนโครงข่าย เช่น งานวิจัย [15] ได้กล่าวถึงลักษณะความไม่แน่นอนที่เกิดจากลักษณะของทราฟฟิก IP แบบไดนามิก และนำเสนอวิธีการวางแผนโครงข่ายที่พิจารณาคุณสมบัติความไม่แน่นอนของทราฟฟิก โดยงานวิจัยดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อหาเส้นทางในโครงข่ายที่มีโครงสร้างเพียงชั้นเดียว ด้วยการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนในการใช้แบนด์วิดท์หรือความจุช่องสัญญาณสำหรับการส่งทราฟฟิก และในงานวิจัย [16] ได้ทำการพิจารณาความไม่แน่นอนของทราฟฟิกสำหรับสถาปัตยกรรมโครงข่ายสองชั้นโดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับในงานวิจัยของ [15]

ถึงแม้ว่าบางงานวิจัยจะมีการพิจารณาความไม่แน่นอนของทราฟฟิกในขั้นตอนการวางแผนโครงข่าย แต่งานวิจัยเหล่านั้นมีเป้าหมายหลักเกี่ยวกับลดค่าใช้จ่ายของการใช้แบนด์วิดท์หรือความจุช่องสัญญาณสำหรับการส่งทราฟฟิก ซึ่งยังไม่ได้พิจารณาความสมดุลของทราฟฟิกไอพีที่ส่งผ่านข่ายเชื่อมโยงของโครงข่ายใยแก้วนำแสง เช่น โครงข่าย IP over WDM ซึ่งในงานวิจัยที่นำเสนอนี้ได้พิจารณาเรื่องความไม่แน่นอนของทราฟฟิก และให้ความสนใจกับประเด็นความสมดุลของทราฟฟิกไอพีที่ส่งผ่านข่ายเชื่อมโยงของโครงข่ายใยแก้วนำแสงด้วย โดยผู้วิจัยได้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคการวางแผนโครงข่ายเสมือนในโครงข่ายไอพีบนการมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่น