หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน

1. บทนำ

อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน เป็นอุปกรณ์ที่นำคุณสมบัติทางกายภาพของแสง ได้แก่การแทรกสอด (interference) มาใช้ให้เป็นประโยชน์ ประวัติการสร้างนั้น ทไวแมนและกรีน ได้ดัดแปลงมาจากอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน เหตุนี้ งานการศึกษาเพื่อสร้างและทดสอบอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน จึงแบ่งออกได้ดังนี้ ศึกษาหลักการของอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน รวมทั้งชนิดทไวแมนและกรีน ในตอนต่อไปของบทนี้ บทที่ 2 เป็นการสร้าง แยกงานออกเป็น 3 ส่วน คือ งานเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดแสง เพื่อจะให้ได้แหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ งานทางช่างกล ได้แก่การสร้างส่วนประกอบเชิงกล หลักในการสร้างอุปกรณ์นี้ คือ จะออกแบบให้ส่วนประกอบเชิงกลแต่ละชิ้นสามารถปรับได้ ดังนั้น การสร้างส่วนประกอบเชิงกลแต่ละชิ้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้ความละเอียดมาก งานทางทัศน์ ได้แก่ศึกษาการฝนเลนส์ การฝนผิวรางและการทดสอบผิวราบ บทที่ 3 ศึกษาการฉาบผิวสะท้อนแสงและการทดสอบเลนส์ และในบทที่ 4 จะศึกษาการใช้อุปกรณ์ที่ประกอบเสร็จ นับตั้งแต่การปรับอุปกรณ์ครั้งแรกเพื่อนำไปใช้ สำหรับการนำไปใช้ จะใช้อุปกรณ์ที่สร้างนี้ตรวจสอบเนื้อของแก้วและปริซึม และตรวจสอบผิวสะท้อนแสงของกระจกเงาราบ

2. ความหมายและหลักการทั่วไปของอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์ ซึ่งทำให้เกิดการแทรกสอด และแสดงลักษณะการแทรกสอดที่เกิดขึ้น โดยปกตินั้น เราจะใช้ศึกษาสมบัติทางแสงของทัศนอุปกรณ์ เช่น ดัชนีหักเห ความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity) ความคลาดของเลนส์ (lens aberration) และยังใช้ศึกษาสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง

หลักการของอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ทุกชนิด มีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีส่วนที่จะทำให้เกิดการแทรกสอด ซึ่งจะรวมถึงแหล่งกำเนิดแสงด้วย แต่การจัดวางทัศนอุปกรณ์จะต่างวิธีกัน เพื่อจะได้แบ่งแสงแบบแบ่งหน้าคลื่นหรือแบบแบ่งอำพน และให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ และยังมีส่วนที่จะแสดงลักษณะของการแทรกสอดที่เกิดขึ้น ได้แก่ฉากหรือเลนส์ใกล้ตา ซึ่งจะให้ภาพของริ้วการแทรกสอด

สำหรับสิ่งที่จะได้จากการตีความจากริ้วการแทรกสอด[19] อาจแยกได้เป็นสองประการ คือ

ประการแรก รู้ถึงข้อมูลแรกเริ่ม ได้แก่ รู้เรื่องของแหล่งกำเนิดแสง ที่ทำให้เกิดการแทรกสอด อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์นั้นมีประโยชน์มาก ในการศึกษาสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง สามารถหาค่าความยาวคลื่นแสง หาความแตกต่างของความยาวคลื่นแสงที่ใกล้เคียงกัน ของแหล่งกำเนิดแสงได้

ประการที่สอง รู้ถึงข้อมูลที่ติดมากับแสงขณะผ่านตัวกลาง เราอาจจะให้แสงนั้นผ่านตัวกลาง ซึ่งเป็นทัศนอุปกรณ์ แสงที่ผ่านตัวกลางนั้นจะถูกแปลงและจะพาข้อมูลติดมา เมื่อมาแทรกสอดกับอีกลำแสง ซึ่งเป็นลำแสงอ้างอิง ก็สามารถบอกความบกพร่องของทัศนอุปกรณ์อันนั้นได้ ตัวอย่างเช่น อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน ซึ่งดัดแปลงมาจากอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน ทำให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในอุตสาหกรรมการผลิตทัศนอุปกรณ์ เช่น เลนส์ กระจก ปริซึม เป็นต้น

3. <u>ชนิดของอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์</u>[12,19]

อาจแบ่งอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ ออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.1 <u>อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดสองลำแสง (two-beam interferometer)</u> ในอุปกรณ์ประเภทนี้ ริ้วการแทรกสอดที่ได้ เกิดจากการแทรกสอดกันของแสง 2 ลำ แยกได้เป็น

3.1.1 <u>อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดแบ่งหน้าคลื่น</u> ลำแสงที่มาแทรกสอดกัน ได้จากการแบ่งหน้าคลื่น อาจใช้ฉากเจาะรูเล็ก ๆ 2 รู กั้นแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงสีเดียวที่เป็นจุด รูทั้งสองจะอยู่บนหน้าคลื่นทรงกลมเดียวกันของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงดังกล่าว ดังนั้น รูทั้งสองจะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ ที่จะทำให้เกิดการแทรกสอด อุปกรณ์ที่จัดให้เกิดการแทรกสอดโดยวิธีนี้ ได้แก่ การทดลองของยัง (Young's experiment) โดยใช้สลิตคู่ (double slit) การแบ่งหน้าคลื่นอาจ

ใช้ปริซึม เลนส์ หรือกระจกก็ได้ อุปกรณ์ที่จัดให้เกิดการแทรกสอดกรณีนี้ เช่น การจัดปริซึมคู่แบบเฟรสเนล (Fresnel's biprism) การจัดแยกเลนส์แบบบิลเลต (Billet's split lens) การจัดกระจกแบบลอยด์ (Lloyd's single mirror) เป็นต้น

3.1.2 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดแบ่งอำพน กรณีนี้ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยตัวแบ่งลำแสง (beam splitter หรือ semi-reflecting surface) ทำให้ลำแสงใหม่ทั้งสองต่างมีความเข้มเป็นครึ่งหนึ่งของความเข้มเดิม หรืออาจกล่าวได้ว่า ค่าอำพนของทั้งสองลำแสงลดลงครึ่งหนึ่งจากเดิม แล้วจึงให้ลำแสงทั้งสองกลับมาแทรกสอดกัน ตัวอย่างของอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์แบบนี้ ได้แก่ อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน

3.2 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดหลายลำแสง (multiple-beam interferometer) เมื่อลำแสงผ่านตัวกลางหรือฟิล์มบาง ที่มีผิวสะท้อนแสงค่อนข้างดี จะเกิดการสะท้อนแสงไปมาระหว่างผิวของตัวกลางนั้น ผลที่ได้ คือ จะมีชุดของลำแสงที่สะท้อนออกมา กับชุดของลำแสงที่ผ่านทะลุตัวกลางออกไป ทำให้เกิดการแทรกสอด ที่เรียกว่าการแทรกสอดจากหลายลำแสงขึ้นในแต่ละชุดของลำแสงดังกล่าว อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ที่ใช้หลักนี้ ได้แก่ อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์แบบแผ่นของลัมเมอร์และเกร์ก (Lummer-Gehrcke plate) อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดเฟบรี-เพอรอต (Fabry-Perot interferometer) อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดฟิซัว (Fizeau interferometer)

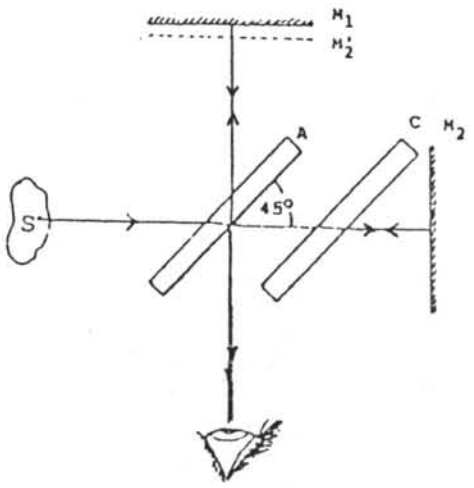
3.3 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดอื่น ๆ เช่น อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ ซึ่งใช้การกระเจิงของแสง (scatter interferometer) อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ ซึ่งใช้การโปลาไรซ์ของแสง (polarizing interferometer) เป็นต้น ซึ่งจะไม่กล่าวถึงรายละเอียด

4. อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน

เนื่องจากอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน มาจากการดัดแปลงอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดของไมเคลสัน[13] จึงใช้หลักการ (ทางทัศนศาสตร์) เดียวกัน แต่สำหรับรายละเอียดของการจัดทัศนอุปกรณ์ และริ้วการแทรกสอดที่เกิดจะไม่เหมือนกันทั้งหมด ดังนั้นในหัวข้อนี้ จึงกล่าวถึงอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสันก่อนแล้วจึงจะกล่าวถึงชนิดของทไวแมนและกรีน ในตอนต่อไป

4.1 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน

4.1.1 หลักการ เป็นอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดลำแสง 2 ลำ ลำแสงจะถูกแบ่งออกเป็นสองลำโดยวิธีแบ่งอำพน ซึ่งใช้ตัวแบ่งลำแสง แล้วจึงให้ลำแสงทั้งสองลำ กลับมาแทรกสอดกันอีกครั้งหนึ่ง แล้วพิจารณาผลจากริ้วการแทรกสอดที่ออกมา ผู้ประดิษฐ์คือไมเคลสัน (A.A. Michelson) เมื่อปี 1881 แบบของอุปกรณ์แสดงคร่าว ๆ ดังรูป 1.1



รูป 1.1 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน

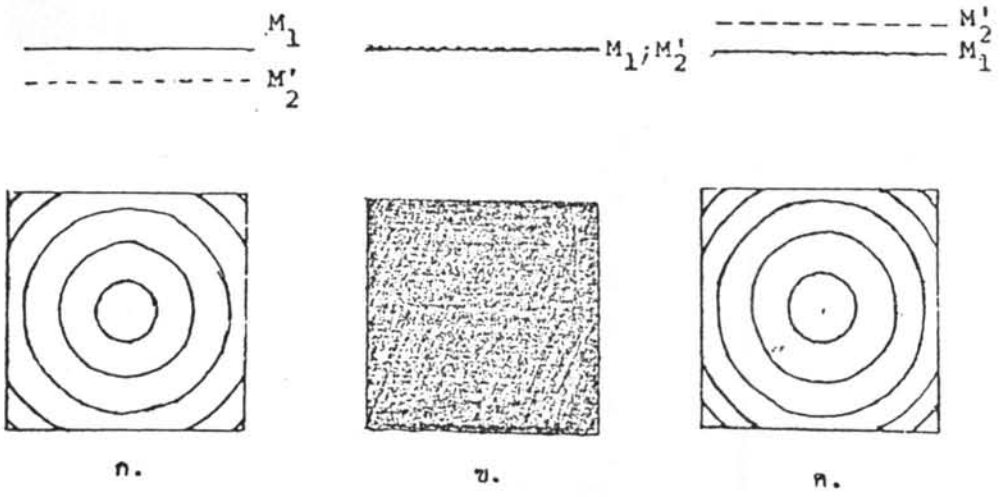
S เป็นแหล่งกำเนิดแสงสีเดียวที่มีขนาด, M_1, M_2 เป็นกระจกเงาราบสองแผ่น, A, C เป็นแผ่นแก้ว ขนานชนิดเดียวกัน มีขนาดความหนาเท่ากัน ด้านหลังของแผ่น A ฉาบด้วยโลหะบาง ๆ (อาจจะเป็นเงิน อลูมิเนียมฯ) เพื่อให้แสงที่เข้ามานั้น มีส่วนหนึ่งสะท้อน และอีกส่วนหนึ่งผ่านไปได้ แผ่นแก้วทั้งสองวางทำมุม 45 องศากับลำแสงที่มาจาก S ดังรูป 1.1

จากรูป 1.1 แสงจากแหล่งกำเนิดแสง S จะถูกแบ่งเป็นสองส่วนที่ผิวสะท้อน (ด้านหลัง) ของ A ลำหนึ่งจะสะท้อนที่ M_1 และอีกลำหนึ่งจะสะท้อนที่ M_2 แล้วทั้งคู่จะกลับมาที่ผิวฉาบของ A อีกครั้ง แสงจาก M_1 จะผ่านแผ่น A มา แต่แสงจาก M_2 จะสะท้อนที่ผิวฉาบของ A ไปซ้อนกับลำแรก แสงทั้งสองลำจะแทรกสอดกัน ซึ่งมองเห็นริ้วการแทรกสอดได้ กระจก M_2 นั้นปกติเราจะตรึงไว้ และปรับแต่ M_1 ซึ่งการปรับนี้ต้องใช้ความละเอียดมาก (อาจจะใช้ไมโครมิเตอร์)

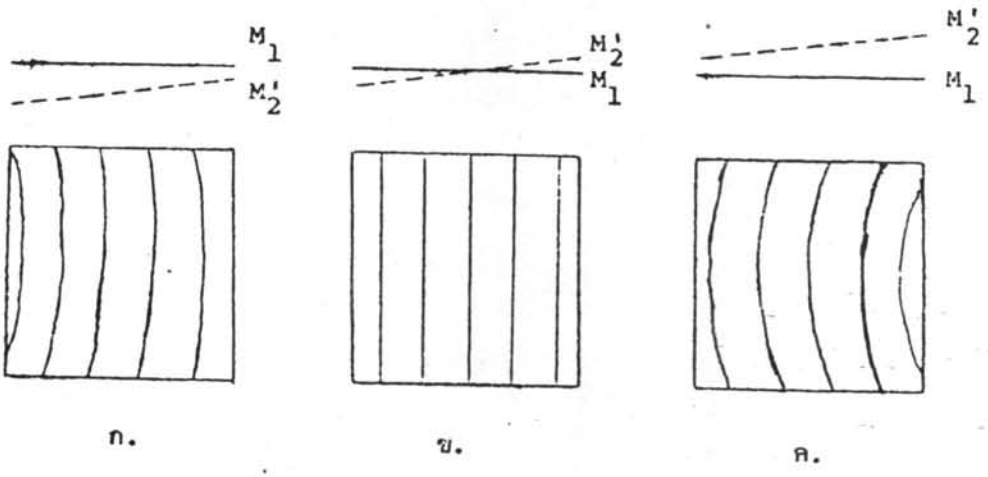
แผ่นแทรกชดเชย (compensating plate) C ที่ใส่เข้ามาระหว่างแผ่นแก้ว A กับกระจก M_2 นั้น เพื่อให้ระยะทางทัศน์ (optical path length ซึ่งจะใช้ตัวย่อว่า O.P.L.) ของแสงทั้งสองลำเท่ากัน เพราะแสงที่สะท้อนที่ M_1 จะต้องผ่านแผ่นแก้ว A ถึง 3 ครั้งก่อนจะมาแทรกสอด ในขณะที่แสงที่สะท้อนที่ M_2 ผ่านแผ่นแก้ว A เพียง 1 ครั้ง[9,12] จึงต้องชดเชยโดยการหาแผ่นแก้ว ซึ่งมีคุณสมบัติ ขนาด ลักษณะเหมือนแผ่นแก้ว A ทุกประการ แต่ไม่ต้องฉาบผิวด้วยโลหะนำมาวางขนานกับแผ่น A ดังรูป 1.1 กรณีที่ใช้แสงสีเดียว ไม่จำเป็นต้องใช้แผ่นแทรกชดเชย เพราะระยะทางทัศน์ (O.P.L.) เพิ่มได้โดยเลื่อน M_1 แต่ถ้าเป็นแสงขาว ซึ่งประกอบด้วยแสงหลายความยาวคลื่น และค่าระยะทางทัศน์ของแสงแต่ละความยาวคลื่นไม่เท่ากัน ดังนั้น เพื่อที่จะได้ริ้วการแทรกสอดของแสงขาว จะต้องใส่แผ่นแทรกชดเชย C ด้วย

4.1.2 <u>ริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้น</u> การอธิบายริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้น ที่อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน อาจทำได้ โดยการพิจารณาค่าความต่างระยะทางทัศน์โดยตรง วิธีนี้วาลาเสค (J. Valasek)[7] ได้ดัดแปลงจากการพิจารณาริ้วการแทรกสอด โดยทางคณิตศาสตร์ของไมเคลสัน[13]

ลักษณะของริ้วการแทรกสอด จากอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน มีรูปที่ต่างกันไปดังแสดงในรูป 1.2 และ 1.3[3,10] รูป 1.2 เป็นริ้วการแทรกสอด เมื่อภาพเสมือนของกระจก M_2 ในตัวแบ่งแสง A (ซึ่งจะเรียกว่ากระจกเสมือน M'_2) กับกระจก M_1 ขนานกันจริง ๆ ริ้วของการแทรกสอดลักษณะนี้เป็นริ้วของไฮดิงเจอร์ หรือริ้วของมุมเอียงเท่า (Haidinger fringes or fringes of equal inclination) อันเป็นริ้วของฟิล์มขนานบาง ลักษณะของริ้วจะเป็นวงกลม



รูป 1.2 ริ้วการแทรกสอดเมื่อกระจก M_1 และกระจกเสมือน M'_2 ขนานกัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กัน รูป ก. และ ค. แสดงริ้วเมื่อกระจกแยกจากกันริ้วจะเป็นวงกลมศูนย์กลางร่วม รูป ข. เป็นริ้วการแทรกสอดเมื่อกระจกอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งจะได้ภาพสว่างหรือมืดตลอดภาพ ขึ้นกับคุณสมบัติทางทัศน์ (ดัชนีหักเห) ของฟิล์มบางที่ฉาบที่ผิวหลังของตัวแบ่งแสง A

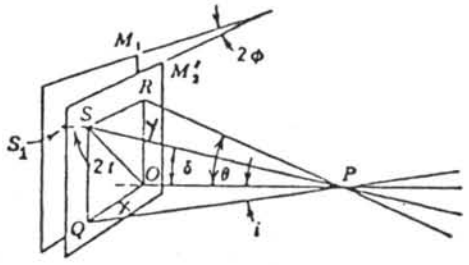


รูป 1.3 ริ้วการแทรกสอดเมื่อกระจก M_1 และกระจกเสมือน M'_2 เอียงทำมุมกันเล็กน้อย รูป ก. และ ค. เป็นริ้วที่ได้เมื่อกระจกอยู่ห่างกัน ริ้วจะเป็นส่วนโค้ง โดยที่จะโค้งเข้าหาขอบของรูปลิ่ม แต่รูป ข. เป็นริ้วที่ได้เมื่อกระจกทั้งสองอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ริ้วที่ได้จะเป็นแนวของเส้นตรงขนานกับขอบของลิ่ม

ศูนย์กลางร่วม ดังรูป1.2 ก. และ ค. แต่ในกรณีที่ลำแสง 2 ลำมีระยะทางทัศน์เท่ากัน ริ้วการแทรกสอดที่ได้จะเป็นภาพสว่างหรือมืดทั่วทั้งภาพ[4] ทั้งนี้ขึ้นกับ การเปลี่ยนเฟสของทั้งสองลำแสงที่สะท้อนที่ผิวต่าง ๆ และคุณสมบัติทางทัศน์ ของฟิล์มบางที่ฉาบ ที่ผิวล่างของ A[4] อย่างกรณีที่ผิวล่างของ A ไม่ได้ฉาบ[12] จะได้ภาพมืดตลอด เพราะเฟสของแสงทั้งสองลำต่างกัน π เรเดียน แต่ถ้า ฉาบผิวล่างของ A ด้วยฟิล์มบาง ความต่างกันของเฟส ของแสงทั้งสองลำ จะขึ้นกับคุณสมบัติทางทัศน์ (ดัชนีหักเห) ของฟิล์มบางนั้นด้วย เพราะ ฟิล์มบางดังกล่าว อาจทำให้เฟสของแสงทั้งสองลำตรงกัน หรือต่างกัน π เรเดียน ก็ได้ แต่จากการปฏิบัติมักพบว่า[4] เฟสของแสงทั้งสองลำจะต่างกัน π เรเดียนคือ เมื่อระยะทางทัศน์เท่ากันแล้ว จะได้ภาพมืดตลอดทั้งภาพ ดังรูป 1.2 ข. สำหรับรูป 1.3 เป็นลักษณะของริ้วการแทรกสอดที่ได้ เมื่อกระจก M'_2 และ M_1 เอียงทำมุมกันเล็กน้อย ริ้วที่ได้จะเป็นริ้วของลิ่มอากาศ (wedge fringes)

รูปริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้น ในกรณีต่าง ๆกันดังกล่าว สามารถอธิบายได้โดยวิธีของวาลาเสค ซึ่งวิธีการ จะพิจารณาจากรูป 1.1 แสงจากแหล่งกำเนิดแสงสีเดียวที่มีขนาด จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนที่ A ไปสะท้อนที่กระจก M_1 และ M_2 เข้าสู่ตา ลักษณะนี้เหมือนกับว่า ริ้วการแทรกสอดได้มาจากการแทรกสอดของลำแสงสองลำ ที่สะท้อนมาจากผิวสะท้อนแสงจริง M_1 กับผิวสะท้อนแสงเสมือน M'_2 ซึ่งกำลังทำให้เกิดฟิล์มบางของอากาศ ที่หน้ากระจก M_1 ดังรูป 1.1 โดยที่ผิวสะท้อนแสงทั้งสอง กระทำมุมต่อกันเล็กน้อยเป็นมุม ϕ จากกฎโคไซน์ของการแทรกสอด (the cosine law of interference) ซึ่งจะกล่าวในภาคผนวก ก. ทำให้ทราบได้ทันทีว่า ความต่างระยะทางทัศน์ (optical path difference ซึ่งจะใช้ตัวย่อ O.P.D. หรือ Δ) ซึ่งก็คือค่าผลต่างของระยะทางทัศน์ (O.P.L.) ของลำแสงที่สะท้อนจากผิวทั้งสองของฟิล์มบางของอากาศ จะมีค่า $2t \cdot \cos\delta$ โดยที่ t คือความหนาของฟิล์มบางของอากาศ δ คือมุมที่แสงตกกระทบหรือสะท้อนที่ผิวของฟิล์มบางของอากาศ การแทรกสอดที่เกิดขึ้นนี้ อาจจะคิดได้อีกว่า[7] เป็นการแทรกสอดจากแหล่งกำเนิดแสงสีเดียว 2 แหล่ง โดยที่ แหล่งกำเนิดแสงแหล่งหนึ่งอยู่ที่ M_1 และแหล่งกำเนิดแสงอีกแหล่งหนึ่งอยู่ที่ M'_2 ดังนั้น M_1 และ M'_2 ในกรณีนี้ จะเป็นแหล่งกำเนิดแสงสีเดียวเสมือน ที่ให้แสงมาแทรกสอดกันโดยตรง โดยไม่มีการสะท้อนดังรูป 1.4 ถ้าคิดในลักษณะนี้ มุมระหว่างแหล่งกำเนิดแสงเสมือน M_1 และ M'_2 จะต้องเป็น 2 เท่าของมุมที่ผิวสะท้อนแสงของฟิล์มบางของอากาศกระทำต่อกันจริง ๆ ให้เป็น 2ϕ โดยที่ ϕ คือมุมระหว่างผิวสะท้อนแสง

ของฟิล์มบางของอากาศ และระยะระหว่างแหล่งกำเนิดแสงเสมือน ก็เป็น 2 เท่าของระยะระหว่างผิวสะท้อนแสงของฟิล์มบางของอากาศเช่นกัน รูป 1.4 S และ S_1 คือ จุดกำเนิดแสงอาพันธ์เสมือน ในแหล่งกำเนิดแสงเสมือน M'_2 และ M_1 ตามลำดับมีระยะห่างกัน 2t โดยที่ t คือ ระยะระหว่างผิวสะท้อนแสงของฟิล์มบางของอากาศ ณ จุด S แสงจากจุดกำเนิดแสงเสมือน S และ S_1 ทำให้เกิดการแทรกสอดที่จุด P ระยะ PO = D ตั้งฉากกับ M'_2 ที่จุด O i และ θ เป็นพิกัดเชิง



รูป 1.4 ระยะทางทัศน์ 2t ระหว่างจุดกำเนิดแสงอาพันธ์เสมือน S_1 และ S ในแหล่งกำเนิดแสงเสมือน M_1 และ M'_2 ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนตามตำแหน่ง ของจุดกำเนิดแสงเสมือนคู่ต่าง ๆ กัน

มุมที่บอกตำแหน่งของ S บน M'_2 δ คือมุมที่แสงตกกระทบหรือสะท้อนที่ผิวของฟิล์มบางของอากาศ ความต่างระยะทางทัศน์ของแสงจาก S_1 และ S มายัง P สามารถหาได้สองวิธี วิธีแรกจากกฎโคไซน์ของการแทรกสอด จะได้ความต่างระยะทางทัศน์ในกรณีนี้ เท่ากับความต่างระยะทางทัศน์ จากผิวสะท้อนแสงของฟิล์มบางของอากาศ ซึ่งเท่ากับ $2t \cdot \cos\delta$ ดังได้กล่าวไปข้างต้นแล้ว และอีกวิธีหนึ่ง คือ พิจารณาจากรูป 1.4 ซึ่งจะได้ผลเช่นเดียวกันว่า

$$\Delta = PS_1 - PS = 2t\cos\delta \qquad \text{----------(1-1)}$$

ณ จุด O อันเป็นจุดตั้งฉากจาก P มายัง M'_2 มีระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงเสมือน M'_2 และ M_1 เป็น $2t_0$ โดยที่ t_0 คือความหนาของฟิล์มบางของอากาศที่จุด O จากรูป 1.4 สามารถหาค่า 2t ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดแสงเสมือน S กับ S_1

$$2t = 2t_0 + OQ.\tan 2\phi \doteq 2(t_0 + OQ\tan\phi) \qquad \text{----------(1-2)}$$

ค่าทางขวามือของสมการ (1-2) เป็นค่าประมาณ เมื่อคิดว่า ϕ มีค่าน้อย ๆ แทนค่า $OQ = D\tan i$ ใน (1-2) จะได้

$$2t = 2(t_0 + D\cdot\tan i \cdot \tan\phi) \qquad \text{----------(1-3)}$$

แทนค่า 2t ลงใน (1-1) จะได้ความต่างระยะทางทัศน์มีค่า

$$\Delta = 2(t_0 + D\cdot \tan i \cdot \tan\phi)\cos\delta \qquad \text{----------(1-4)}$$

จากรูป 1.4 จะได้ว่า

$$\cos\delta = \frac{D}{PS} = \frac{D}{\sqrt{D^2+OQ^2+OR^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2 i+\tan^2\theta}} \qquad \text{-----(1-5)}$$

แทน (1-5) ใน (1-4) ได้

$$\Delta = \frac{2(t_0+D\ .\ \tan i\ .\ \tan\phi)}{\sqrt{1+\tan^2 i+\tan^2\theta}} \qquad \text{----------(1-6)}$$

เนื่องจาก จุด P เป็นตำแหน่งที่เกิดริ้วการแทรกสอดเด่นชัดที่สุด ดังนั้น ณ จุด P นี้ ต้องมีความแตกต่างของริ้วการแทรกสอดมากที่สุด กล่าวคือ ถ้าเป็นการแทรกสอดแบบเสริมสร้าง (constructive interference) ก็เสริมสร้างกันจริง ถ้าเป็นการแทรกสอดแบบหักล้าง (destructive interference) ก็หักล้างกันหมด ดังนั้น ถ้ากำหนดจุดP ลงบนตำแหน่งที่เกิดริ้วการแทรกสอดเด่นชัดที่สุด ค่า Δ ของลำแสงคู่จากตำแหน่ง S ใด ๆ บน M_2' มายังจุด P จะไม่ขึ้นกับตำแหน่งของ S หรือไม่ขึ้นกับมุม θ และมุม i นั่นเอง ดังนั้น

$$\frac{\partial\Delta}{\partial\theta} = 0 \quad \text{และ} \quad \frac{\partial\Delta}{\partial i} = 0 \qquad \text{----------(1-7)}$$

จากเงื่อนไขแรกของ (1-7) จะได้ค่าดิฟเฟอเรนชิเอตเป็น

$$\frac{\partial \Delta}{\partial \theta} = \frac{-2(t_0+D \cdot \tan i \cdot \tan\phi)}{(1+\tan^2 i+\tan^2\theta)^{3/2}} \cdot \tan\theta \cdot \mathrm{Sec}^2\theta = 0 \qquad ---(1-8)$$

จาก (1-8) จะได้ว่า

$$\frac{\partial \Delta}{\partial \theta} = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad \theta = 0 \qquad -------(1-9)$$

จากเงื่อนไขหลังของ (1-7) จะได้ว่า $\frac{\partial \Delta}{\partial i} = 0$ เมื่อ

$$D. \tan\phi+D.\tan\phi.\tan^2\theta-t_0.\tan i = 0 \qquad -------(1-10)$$

จาก (1-9) ได้ค่า $\theta = 0$ ดังนั้น (1-10) จะเขียนได้เป็น

$$D = \frac{t_0 \cdot \tan i}{\tan\phi} \qquad -------(1-11)$$

สมการ (1-11) นี้ จะบอกตำแหน่งของริ้วการแทรกสอด ที่เกิดขึ้นที่อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน แต่ริ้วการแทรกสอดสองแบบที่พบบ่อยคือ

ก. ถ้า $\phi = 0$ และ $t_0 \neq 0$ จะได้ $D = \infty$ ความหมายคือ ถ้ากระจก M_1 และกระจกเสมือน M_2' ขนานกันแต่ไม่ซ้อนกัน ริ้วการแทรกสอดจะเกิดที่ระยะอนันต์

ข. ถ้า $t_0 = 0$ แต่ $\phi \neq 0$ จะได้ $D = 0$ ความหมายคือ กระจก M_1 และกระจกเสมือน M_2' อยู่ ณ ตำแหน่งเดียวกัน แต่เอียงทำมุมกัน ริ้วการแทรกสอดจะเกิดที่ตำแหน่งของกระจกนั้น

ตอนต่อไป เป็นการพิจารณารูปของริ้วการแทรกสอด วิธีการนั้นถือว่า กำลังพิจารณาริ้วการแทรกสอดที่ระยะ $D(=PO)$ จาก M_2' ริ้วการแทรกสอดแต่ละริ้ว ก็คือแนวของจุดที่มีค่าความต่างระยะทางทัศน์คงที่บน M_2' เมื่อเทียบกับจุดกำเนิดแสงอาพันธ์บน M_1 ลักษณะของริ้วหาได้จากสมการ (1-6) โดยให้ค่า Δ คงที่ เพื่อความสะดวกในการพิจารณารูปของสมการ (1-6) จะกำหนดระยะ $OQ = x$ และ $OR = y$ สำหรับค่า Δ คงที่ใด ๆ จะได้ว่า

$$x = D \tan i \qquad ----------(1-12\ a)$$

$$y = D \tan \theta \qquad ----------(1-12\ b)$$

จาก (1-6) จะได้ว่า

$$\Delta^2(1+\tan^2 i+\tan^2\theta) = 4(t_0+D \tan i \tan\phi)^2 \qquad \text{----------(1-13)}$$

จาก (1-12) และ (1-13) จะได้ว่า

$$\Delta^2\left(1 + \frac{x^2}{D^2} + \frac{y^2}{D^2}\right) = 4(t_0^2 + x^2\tan^2\phi + 2t_0 \cdot x \cdot \tan\phi) \qquad \text{-------(1-14)}$$

หรือ

$$x^2(\Delta^2 - 4D^2 \tan^2\phi) + y^2\Delta^2 - 8xt_0D^2 \tan\phi + \Delta^2D^2 - 4D^2t_0^2 = 0 \qquad \text{---(1-15)}$$

สมการ (1-15) เป็นสมการของเส้นรูปกรวยตัด (equation of conic section) ซึ่งริ้วการแทรกสอดจะเป็นวงกลม วงรี ไฮเปอร์โบลา พาราโบลา หรือเส้นตรงก็ได้ ขึ้นกับค่าของ Δ และ ϕ [13]

ถ้าพิจารณาแต่กรณีเฉพาะที่น่าสนใจคือ เมื่อ (1) $t_0 = 0$ หรือมีค่าเพียงไม่กี่เท่าของความยาวคลื่นแสง (λ) และ (2) เมื่อ $\phi = 0$

พิจารณากรณีแรก คือ $t_0 = 0$ หรือมีค่าเพียงไม่กี่เท่าของ λ เนื่องจากค่า $\tan i = \frac{x}{D}$ และ $\tan\theta = \frac{y}{D}$ มีค่าน้อยกว่าหนึ่งมาก จึงสามารถเขียนสมการ (1-13) ให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้นกว่าสมการ (1-15) ได้คือ

$$\Delta = 2(t_0 + x \tan\phi) \doteq 2x \tan\phi \qquad \text{----------(1-16)}$$

หรือ $$x = \frac{\Delta}{2 \tan\phi} \qquad \text{----------(1-17)}$$

สมการ (1-17) เป็นสมการชุดของเส้นตรงที่ขนานกับแนวแกน y ระยะระหว่างริ้วจะมากขึ้น ถ้า ϕ มีค่าน้อยลง สำหรับเงื่อนไขที่จะให้ริ้วการแทรกสอดมืดหรือสว่าง ขึ้นอยู่กับเฟสที่ต่างกัน ของลำแสงทั้งสองลำ ดังได้กล่าวมาแล้ว ความหมายของ (1-17) ก็คือ กรณีที่กระจก M_1 และกระจกเสมือน M_2' ทับกัน แต่เอียงทำมุม ϕ ริ้วการแทรกสอดที่ได้ จะเป็นริ้วเส้นตรงขนานกับขอบลิ่ม ถ้ามุม ϕ น้อย แถบของริ้วการแทรกสอดจะกว้างขึ้น

พิจารณากรณีที่สอง คือ $\phi = 0$ ความหมายกรณีนี้ คือ กระจก M_1 และกระจกเสมือน M_2' ขนานกัน แต่ระยะทางทัศน์ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน (คือกระจก M_1 และกระจกเสมือน M_2' ไม่จำเป็นต้องทับกัน) ริ้วการแทรกสอดที่ได้หาได้ โดยแทนค่า $\phi = 0$ ลงใน (1-15) จะได้ว่า

$$x^2\Delta^2 + y^2\Delta^2 + D^2(\Delta^2 - 4t_0^2) = 0 \qquad \text{----------(1-18)}$$

จาก (1-18) จะได้

$$x^2 + y^2 = \frac{D^2(4t_0^2 - \Delta^2)}{\Delta^2} \qquad \text{---------- (1-19)}$$

สมการ (1-19) เป็นสมการชุดของวงกลมศูนย์กลางร่วม ซึ่งหมายความว่า ริ้วการแทรกสอดจะเป็นริ้วของวงกลม รัศมีของวงกลมจะเพิ่มขึ้นถ้า Δ มีค่าน้อยลง กรณีที่ Δ มีค่าเท่ากับศูนย์ ภาพของริ้วการแทรกสอดจะสว่างหรือมืดตลอดภาพ ขึ้นกับว่าเฟสของลำแสงสองลำต่างกัน 0 หรือ π เรเดียน ในทางปฏิบัติกรณีที่เป็นภาพมืด จะไม่ได้ภาพที่มืดสนิททั่วทั้งภาพ ทั้งนี้เพราะความหนาของฟิล์มโลหะที่ฉาบบาง ๆ ที่ผิวของตัวแบ่งแสงอาจหนาไม่สม่ำเสมอ ผิวของแก้วไม่ราบจริง แผ่นแก้วที่ใช้เป็นตัวแบ่งแสงหรือแผ่นแทรกชดเชย อาจมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ สิ่งเหล่านี้ทำให้ค่าความต่างระยะทางทัศน์ (Δ) มีค่าไม่สม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งภาพ ทำให้ภาพที่ได้ไม่มืดจริงตลอด

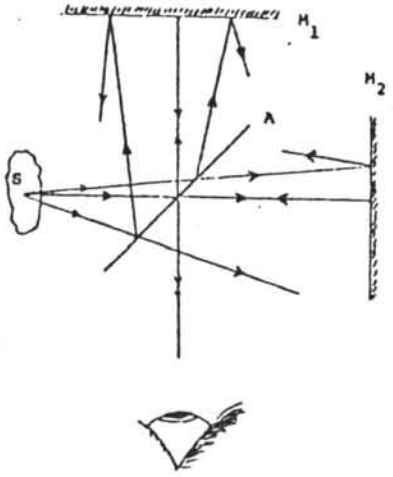
การทดลองในอดีตที่สำคัญ ทำให้อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน เป็นที่รู้จักกันดี มี 3 อย่าง คือ การทดลองของไมเคลสันและมอร์เลย์เรื่องของอีเทอร์ การศึกษาเส้นสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง และการกำหนดความยาวมาตรฐาน ในหน่วยของความยาวคลื่นแสง แต่ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงรายละเอียดของการทดลองดังกล่าว

4.2 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน

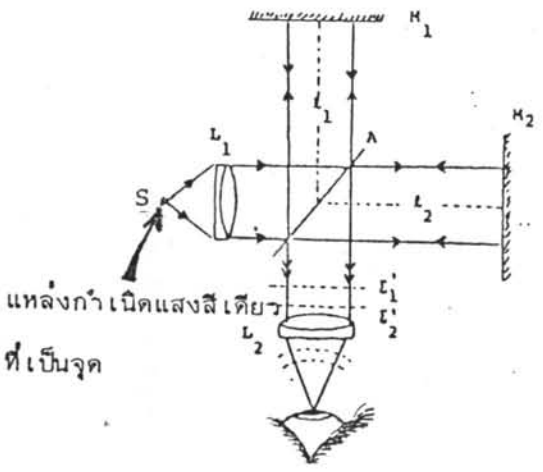
4.2.1 หลักและประวัติ หลักการนั้น จะเป็นอย่างเดียวกับชนิดของไมเคลสัน เพียงแต่ลำแสงที่ใช้จะให้เป็นลำแสงขนาน (ไม่ใช่แสงที่กระจายออกทุกทิศทุกทางอย่างในชนิดของไมเคลสัน) ซึ่งทำให้อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดของทไวแมนและกรีน ใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางกว่า ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางทัศนศาสตร์ของแก้ว กระจก ปริซึม และเลนส์

ทไวแมน (F. Twyman) และกรีน (A. Green) [13] ได้ดัดแปลงอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน โดยใช้แสงขนานซึ่งได้จากเลนส์รวมแสง แล้วรวมแสงขนานเข้าสู่ตา โดยใช้เลนส์อีกอันหนึ่ง เมื่อปี 1916 ครั้งแรกที่ประดิษฐ์เพื่อใช้ตรวจสอบปริซึม ซึ่งมีข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากเนื้อแก้วไม่เป็นอันเดียวกันตลอด [13] ต่อมาในปี 1918 ทไวแมนก็ปรับปรุงอุปกรณ์ของเขา เพื่อบอกความคลาดของเลนส์ถ่ายรูป

4.2.2 วิธีการดัดแปลงของทไวแมนและกรีน



รูป 1.5 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน



รูป 1.6 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน

พิจารณาอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน (รูป 1.5) ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดแสงสีเดียวที่มีขนาด และมีตัวกระจายแสง ถ้าเราพิจารณาจุดเดียวดังรูป แสงจากจุดนี้จะออกไปทุกทิศทุกทาง จะมีบางส่วนที่ตกกระทบกระจก M_1 และ M_2 แต่ในลักษณะของมุมตกต่าง ๆ กัน ทำให้แสงที่สะท้อนกลับมาแทรกสอดกันอีกครั้งหนึ่งนั้น จะมีค่าความเข้มลดลงไป แต่กรณีของทไวแมนและกรีน(รูป 1.6) ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดแสงสีเดียวที่เป็นจุด อยู่ที่ตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ L_1 นั้น ลำแสงที่ตกกระทบกระจก M_1 และ M_2 จะเป็นลำแสงขนาน แสงสะท้อนก็ยังเป็นลำแสงขนานอยู่ ถ้ากระจกทั้งสองนั้นราบจริง จุดนี้เองที่เราจะนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ โดยเหตุที่ เรามีลำแสงสองลำที่จะมาแทรก

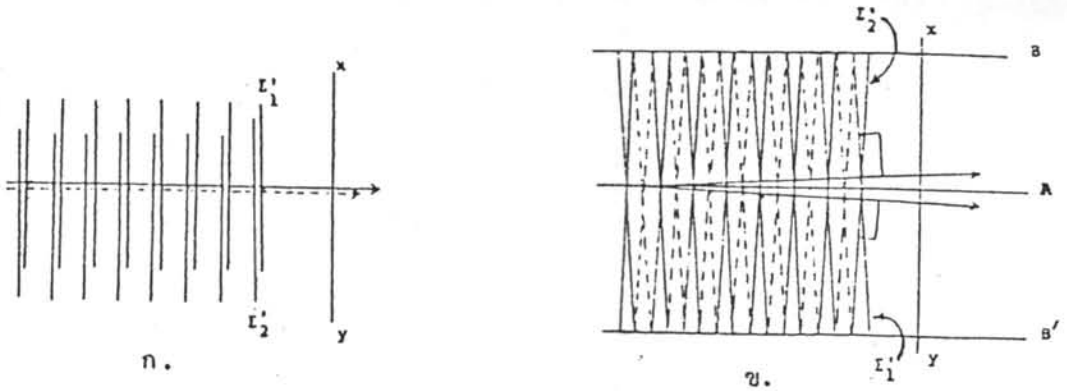
สอดกัน เมื่อเราใส่ทัศนอุปกรณ์ขวางลำแสงลำหนึ่งไว้ ถ้าทัศนอุปกรณ์นั้นไม่มีความบกพร่อง ลำแสงที่ผ่านออกไปจะยังคงเป็นลำแสงขนานไปแทรกสอดกัน แต่ถ้าทัศนอุปกรณ์มีความบกพร่อง จะทำให้ลำแสงที่ผ่านออกไป ไม่เป็นลำแสงขนาน และเมื่อไปแทรกสอดกับลำแสงอ้างอิง จะให้ริ้วการแทรกสอดที่บอกความบกพร่องของทัศนอุปกรณ์ เป็นความคลาดเชิงหน้าคลื่น (wave front aberration) โดยตรง นอกจากจะตรวจเนื้อของทัศนอุปกรณ์ ดังได้กล่าวมาแล้ว เราอาจจะใช้ตรวจผิวของทัศนอุปกรณ์ โดยใช้วิธีการสะท้อนของแสงที่ผิวของวัตถุที่จะตรวจ ซึ่งใช้หลักการเดียวกัน

4.2.3 <u>ริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้น</u> การแทรกสอดในกรณีของอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน จะเกิดเมื่อค่าระยะทางทัศน์ (O.P.L.) เท่ากัน หรือไม่ต่างกันมาก จากรูป 1.6 ค่าดังกล่าวคือ ระยะ $[\ell_1] \doteq [\ell_2]$ ทั้งนี้เพราะแสงที่ใช้เป็นแสงอาพันธ์ ซึ่งจะมีระยะอาพันธ์ (coherence length) เป็นค่าหนึ่ง การแทรกสอดจะเกิดขึ้นต่อเมื่อความต่างระยะทางทัศน์ (จากรูป 1.6 ความต่างระยะทางทัศน์ = $[\ell_1] - [\ell_2]$) มีค่าไม่เกินระยะอาพันธ์[4,9] ในกรณีที่ใช้อุปกรณ์นี้ตรวจสอบทัศนอุปกรณ์ การเติมทัศนอุปกรณ์ลงไปในระบบเดิม อาจทำให้ความต่างระยะทางทัศน์มีค่าเกินระยะอาพันธ์ได้ ซึ่งผู้ใช้อุปกรณ์ต้องปรับระยะ $[\ell_1]$ หรือ $[\ell_2]$ ใหม่ ให้ผลต่าง คือ $[\ell_1]-[\ell_2]$ มีค่าไม่เกินระยะอาพันธ์ จะแยกพิจารณาริ้วการแทรกสอดเป็นดังนี้

4.2.3.1 <u>ริ้วการแทรกสอดขณะที่ยังไม่มีทัศนอุปกรณ์</u> อาจอธิบายได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะให้ผลเหมือนกันดังนี้

4.2.3.1.1 <u>โดยพิจารณาหน้าคลื่นที่สะท้อนของลำแสงขนาน</u>[4] (Σ_1' และ Σ_2') จากรูป 1.6 Σ_1' และ Σ_2' คือหน้าคลื่นของลำแสงขนาน ที่สะท้อนจากกระจก M_1 และ M_2 ตามลำดับ ผ่านตัวแบ่งลำแสง A ซึ่งเมื่อผ่านเลนส์ L_2 แล้ว หน้าคลื่นดังกล่าวจะเป็นหน้าคลื่นของคลื่นทรงกลม และเข้าสู่ตาผู้สังเกต จะแยกพิจารณาเป็น 2 กรณีดังนี้

กรณีแรก เมื่อ M_1 และ M_2' ขนานกัน หน้าคลื่น Σ_1' และ Σ_2' จะอยู่ในลักษณะดังรูป 1.7 ก. เราจะพิจารณาแต่เฉพาะสันคลื่นของแต่ละขบวนเท่านั้น ซึ่งเส้นทึบแต่ละเส้น จะแสดงแนวของสันคลื่นแต่ละขบวน ที่ระนาบ xy ใด ๆ จะพบว่าหน้าคลื่นของทั้งสองขบวนจะแทรกสอดกัน มีความเข้มโดยสม่ำเสมอ จะมืดหรือสว่างขึ้นกับความต่างระยะทางทัศน์ และยังขึ้นกับเฟสของลำแสงทั้งสองลำ ซึ่งจะมีเฟสตรงกัน หรือต่างกัน π เรเดียน กล่าวคือ



รูป 1.7 การเกิดริ้วการแทรกสอดจากคลื่นขนาน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ้าลำแสงทั้งสองลำ มีเฟสต่างกัน π เรเดียน

$$O.P.D. = 2nt = \begin{cases} (m + \frac{1}{2})\lambda & \text{กรณีสว่างเต็มที่} \\ m\lambda & \text{กรณีมืด} \end{cases}$$

ถ้าลำแสงทั้งสองลำ มีเฟสตรงกัน

$$O.P.D. = 2nt = \begin{cases} (m + \frac{1}{2})\lambda & \text{กรณีมืด} \\ m\lambda & \text{กรณีสว่างเต็มที่} \end{cases}$$

007539

โดยที่ n คือดัชนีหักเหของตัวกลาง , t คือระยะระหว่างกระจก M_1 และกระจกเสมือน M_2' และ m = 0,1,2... ถ้าจัดให้ระยะทางทัศน์ของแสงทั้ง 2 ลำเท่ากันแล้ว ริ้วการแทรกสอดที่ได้ จะเป็นภาพที่มีความเข้มสม่ำเสมอ สว่างหรือมืดตลอดภาพ

ดังนั้นกรณีที่กระจกขนานกัน และมีระยะทางทัศน์เท่ากัน ริ้วการแทรกสอดจะเป็นภาพสว่างหรือมืดสม่ำเสมอทั่วภาพการแทรกสอด

กรณีที่สอง เมื่อ M_1 และ M_2' ทำมุมกัน ดังรูป 1.7 ข. หน้าคลื่นทั้งสองจะทำมุมกัน คลื่นแต่ละขบวนจะแทนด้วยเส้นทึบซึ่งเป็นแนวของสันคลื่น และเส้นประซึ่งเป็นแนวของท้องคลื่น เมื่อพิจารณาตามแนวเส้นตรง A สันคลื่นของขบวนหนึ่ง จะพบกับสันคลื่นของอีกขบวนหนึ่ง และท้องคลื่นก็เช่นเดียวกัน แต่ถ้าพิจารณาตามเส้นตรง B หรือ B'จะเป็นแนวสันคลื่นขบวนหนึ่งพบกับท้องคลื่นของอีกขบวนหนึ่ง ดังนั้น A จะเป็นแนวที่คลื่นทั้งสองขบวนมีเฟสตรงกัน เกิดการแทรกสอดแบบเสริมสร้าง ในขณะที่ B และ B' เป็นแนวการแทรกสอดแบบหักล้าง

พิจารณาระนาบใด ๆ xy ดังรูป จะพบริ้วการแทรกสอดซึ่งเป็นแถบสว่างและแถบมืดตามแนวทางเดินของจุด A และ B กับ B' ตามลำดับ เงื่อนไขการแทรกสอดในกรณีนี้ เหมือนกับกรณีแรก แต่กรณีที่ระนาบ xy นั้น ริ้วการแทรกสอดจะเป็นแถบมืด สว่าง เป็นลักษณะของริ้วของความหนาเท่า ซึ่งจะเป็นแนวขนานกับรอยตัดกันของกระจก M_1 และ M_2'

4.2.3.1.2 <u>ผลจากการพิจารณารูปของริ้วการแทรกสอดของวาลาเสค</u> เราอาจจะขยายการพิจารณารูปของริ้วการแทรกสอด ที่เกิดขึ้นที่อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน มาใช้อธิบายริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้น ที่อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีนได้

กรณีที่ M_1 และ M_2' ขนานกัน นั่นคือ $\phi = 0$ เนื่องจากลำแสงขนานกัน ดังนั้น S_1 และ S (จาก รูป 1.4) จะอยู่ในแนวเดียวกัน อันเป็นแนวที่ตั้งฉากกับกระจก ดังนั้น $2t_0 = \Delta$ แทนค่าใน (1-19) จะได้

$$x^2 + y^2 = 0 \qquad (1\text{-}20)$$

สมการ (1-20) แสดงว่า ริ้วการแทรกสอดจากจุด S_1 และ S ซึ่งให้แสงในแนวเดียวกัน จะปรากฏเป็นภาพจุดสว่างหรือจุดมืด ที่ตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ L_2 แต่เนื่องจากแสงที่ตกบนเลนส์ L_2 เป็นแสงขนานอาพันธ์ และในการสังเกตด้วยอุปกรณ์นี้ จะให้ตาผู้สังเกตอยู่ที่จุดโฟกัสของเลนส์ L_2 และโฟกัสตาที่เลนส์ L_2 ผู้สังเกตจึงเห็นภาพเป็นบริเวณที่มีความเข้มสม่ำเสมอ

ส่วนกรณีที่ M_1 และ M_2' ทำมุมกัน พิจารณารูป (1.4) S_1 และ S เป็นแหล่งกำเนิดแสงเสมือนซึ่งอยู่เยื้อง ๆ กัน แต่กรณีนี้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงเสมือนทั้งสอง เป็นลำแสงขนาน ดังนั้น ถ้าเราพิจารณาว่า S_1 และ S อยู่ไกลมาก ๆ เพื่อลำแสงที่มาแทรกสอดกันสามารถถือได้ว่าเป็นลำแสงขนาน นั่นคือเราพิจารณา $D >> x, y$ ดังนั้น จากสมการ (1-14)

ก็จะเขียนได้เป็น

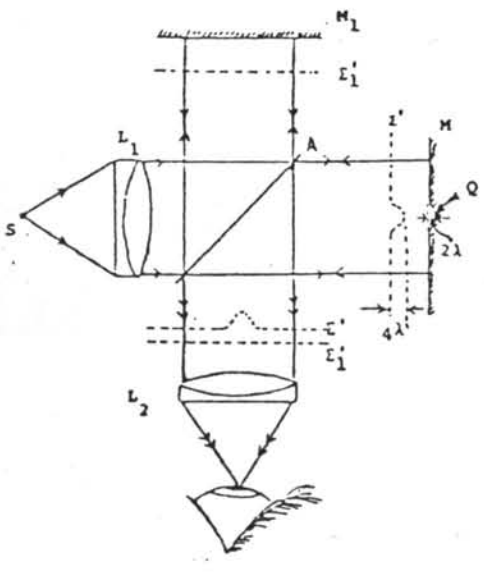
$$x = \frac{\Delta - 2t_o}{2 \tan \phi} \qquad (1\text{-}21)$$

สมการ (1-21) เป็นสมการชุดของเส้นตรง ซึ่งริ้วการแทรกสอดในกรณีนี้ จะเป็นเส้นตรงขนานกับขอบของลิ่มอากาศ

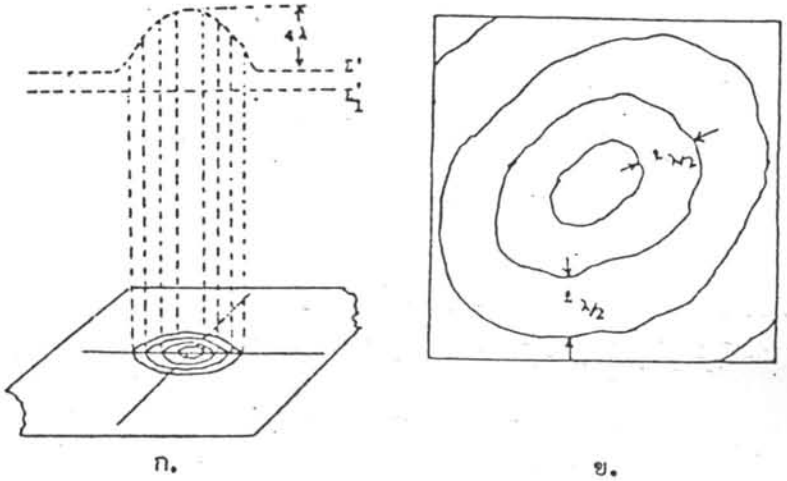
สรุป ริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้นขณะยังไม่มีทัศนอุปกรณ์ เมื่อ M_1 และ M_2 เป็นกระจกราบอย่างแท้จริง จะมีริ้วได้ 2 แบบ คือ เป็นภาพที่มีความเข้มสม่ำเสมอ หรือเป็นเส้นตรงที่ขนานกับขอบของลิ่มอากาศ

4.2.3.2 <u>ริ้วการแทรกสอดเมื่อมีทัศนอุปกรณ์</u> (4,6,13) เมื่อจัดให้กระจก M_1 และกระจก M_2 ตั้งฉากกันจริง ๆ ซึ่งจะทำให้ M_1 และภาพเสมือน M_2' ขนานกันแล้ว ริ้วการแทรกสอดที่ได้ จะเป็นภาพที่มีความเข้มสม่ำเสมอ ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว ถ้าเรานำทัศนอุปกรณ์ไปวางขวางลำแสงลำใดลำหนึ่ง จะได้ริ้วการแทรกสอดลักษณะต่าง ๆ ซึ่งแบ่งได้เป็น

4.2.3.2.1 <u>ริ้วการแทรกสอดเกิดจากการสะท้อนที่ผิวของทัศนอุปกรณ์</u> ถ้าเราแทนกระจก M_2 ด้วยผิวราบสะท้อนแสงอื่น ถ้าผิวนั้นราบจริงและขนานกับผิว M_2 เดิม ภาพของริ้วการแทรกสอด ก็ยังคงมีความเข้มสม่ำเสมอกันตลอด แต่ถ้าผิวนั้นไม่ราบ เช่นมีหลุมลึก Q ดังรูป 1.8 จะมีริ้วการแทรกสอดดังแสดงในรูป 1.9



รูป 1.8 การจัดอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบผิวราบสะท้อนแสง M



ก. ข.

รูป 1.9 ริ้วการแทรกสอด ที่ได้จากการตรวจสอบผิวราบสะท้อนแสง M รูป ก แสดงริ้วการแทรกสอด ที่เกิดจากหน้าคลื่น Σ เมื่อเทียบกับหน้าคลื่นอ้างอิง Σ_1' ส่วนรูป ข แสดงริ้วการแทรกสอด และ $\frac{\lambda}{2}$ บอกถึงระยะระหว่างบริเวณที่มีความลึกต่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

รูป 1.8 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบผิวราบสะท้อนแสง M ซึ่งสมมุติให้มีหลุม Q ลึก 2λ ลำแสงจะถูกหน่วงที่ Q ถึงสองครั้ง ผลสุดท้าย ระยะทางทัศน์ที่ถูกหน่วงในกรณีนี้ จะมีค่าเป็น 4λ Σ_1' และ Σ' เป็นรูปหน้าคลื่น ที่สะท้อนจากกระจก M_1 และผิว M ตามลำดับ เมื่อคลื่นทั้งสองแทรกสอดกัน จะได้ริ้วการแทรกสอดดังรูป 1.9 แต่ละริ้วจะบอกถึงแนวความลึกเท่า ๆ กัน ระยะระหว่างริ้วจะบอกระยะลึกซึ่งต่างกัน λ ของหน้าคลื่น หรือ $\frac{\lambda}{2}$ ของผิวที่ทดสอบ

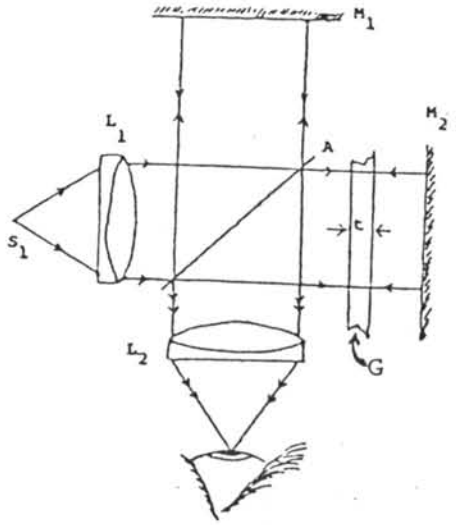
ริ้วการแทรกสอดที่ได้จากการจัดวางอุปกรณ์ตามรูป 1.8 จะบอกคุณสมบัติของผิวที่ทดสอบดังนี้

(1) แต่ละริ้วจะบอกถึงบริเวณที่มีความลึกเท่า ๆ กัน

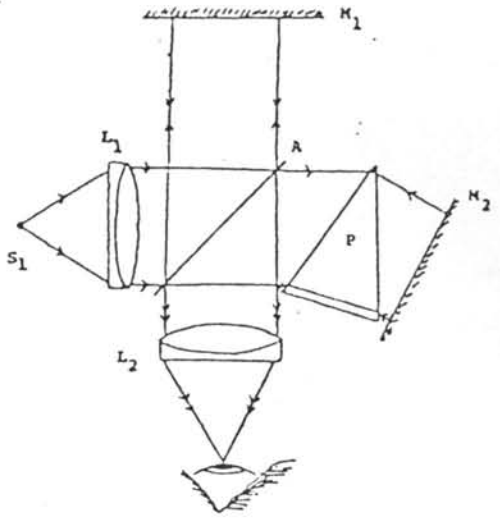
(2) ระยะระหว่างริ้วจะบอกถึงความลาดของผิวในหลุม ระยะระหว่างริ้วดังแสดงในรูป 1.9 ข. จะบอกระยะระหว่างบริเวณที่มีความลึกต่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

(3) ริ้วอาจจะมาจากหลุมลึก หรือส่วนที่อยู่สูงขึ้นมา พิจารณาได้โดยเลื่อนระยะ MA ออกไปเล็กน้อย โดยการผลักเบา ๆ ที่ฐานของ M เนื่องจากแต่ละริ้วยังคงรักษาค่าความต่างระยะทางทัศน์ให้คงเดิม ดังนั้นการที่เราเลื่อนระยะ MA ออกไปอีกเล็กน้อย ถ้าเป็นหลุมลึก ริ้วการแทรกสอดจะขยายออกจากจุดกลางริ้ว (central fringes) และถ้าเป็นที่สูงขึ้นมา ริ้วการแทรกสอดจะเลื่อนเข้าหาจุดกลางริ้ว

4.2.3.2.2 <u>ริ้วการแทรกสอดที่เกิดจากลำแสงหนึ่งผ่านทัศนอุปกรณ์</u>[4,6]



รูป 1.10 การจัดอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบเนื้อของแผ่นแก้วใส



รูป 1.11 การจัดอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบเนื้อของปริซึม

รูป 1.10 แสดงการจัดอุปกรณ์ ให้ลำแสงหนึ่งผ่านแผ่นแก้วใส G รูป 1.11 แสดงการจัดอุปกรณ์ ให้ลำแสงหนึ่งผ่านปริซึม P ถ้าทั้งแผ่นแก้วใส G และปริซึม P ไม่มีความบกพร่องเลย ลำแสงยังคงเป็นลำแสงขนานหน้าคลื่นจะไม่ถูกบิดไป แต่ถ้าบริเวณใดบริเวณหนึ่งของแผ่นแก้วใส G หรือปริซึม P มีค่าระยะทางทัศน์ (O.P.L. = n . t, n คือ ดัชนีหักเหของแก้ว, t คือความหนาของแก้ว) ผิดไปจากบริเวณส่วนใหญ่ อาจเนื่องมาจากความหนาไม่เท่ากัน (ผิวไม่ราบจริง) หรืออาจเกิดจากแก้วไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (คือดัชนีหักเหไม่เป็นอันเดียวกัน) จะทำให้หน้าคลื่นบิดไปจากแนวราบ เมื่อมาแทรกสอดกับอีกลำแสงหนึ่งที่ถือเป็นลำแสงอ้างอิง ริ้วการแทรกสอดที่ได้จะเป็น "ริ้วของระยะทางทัศน์เท่า" (fringes of equal optical path length) หรือ "ริ้วของความต่างเฟสเท่า" (fringes of equal phase difference) โดยระยะระหว่างริ้วจะบอกความต่างกันของระยะทางทัศน์ เป็นสองเท่าของหน้าคลื่นที่ถูกบิดไปจริง ๆ [4,6] ในกรณีที่เป็นแผ่นแก้วราบที่มีขนาดความหนาเท่ากันตลอดทั้งแผ่น แต่ละริ้วจะแสดงแนวบริเวณที่มีค่าดัชนีหักเหเท่ากัน

การวิเคราะห์ริ้วการแทรกสอด[4,6] พิจารณาได้ดังนี้

(1) แต่ละริ้วจะแสดงบริเวณที่มีค่าระยะทางทัศน์เท่ากัน

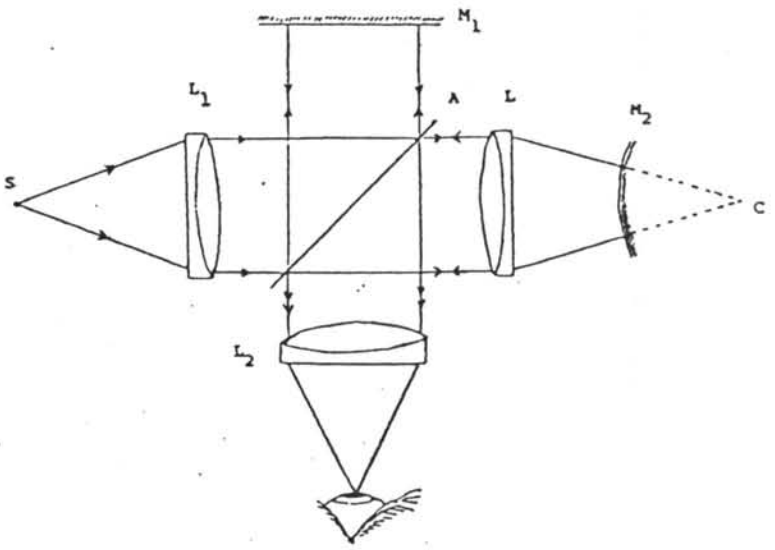
(2) ระยะระหว่างริ้วจะบอก ค่าของระยะทางทัศน์ที่ต่างกันเป็น λ (ของหน้าคลื่น) หรือต่างกันเป็น $\frac{\lambda}{2}$ (ของแก้ว)

(3) บริเวณใดเป็น "ที่ดอน" (high) (คือบริเวณที่มีค่าระยะทางทัศน์มากกว่าบริเวณอื่น) หรือ "ที่ลุ่ม" (low) (คือบริเวณที่มีค่าระยะทางทัศน์น้อยกว่าบริเวณอื่น) ตรวจสอบได้โดยเลื่อนระยะ M_2A ออกไปเล็กน้อย โดยผลักเบา ๆ ที่ฐานของกระจก M_2 ถ้าบริเวณใดเป็นที่ดอน ริ้วการแทรกสอดจะเคลื่อนออกจากจุดกลางริ้ว และถ้าบริเวณใดเป็นที่ลุ่ม ริ้วการแทรกสอดจะเคลื่อนเข้าหาจุดกลางริ้ว

การแก้ไขความบกพร่องของทัศนอุปกรณ์ ที่ นำมาทดสอบ โดยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนี้ ดังได้กล่าวแล้วว่า ริ้วการแทรกสอดนี้จะบอกค่าระยะทางทัศน์เท่า นั่นคือริ้วดังกล่าวเป็นผลจากความบกพร่องสองอย่างพร้อม ๆ กัน คือ ผิวไม่ราบ (t ไม่เท่ากัน) กับความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (n ไม่เท่ากัน) ของเนื้อแก้วรวมไว้ด้วยกัน

ดังนั้น การที่จะทำให้ค่าระยะทางทัศน์เท่ากันทั่วทั้งแผ่น ก็สามารถทำได้โดยการลดค่า t (ความหนาของแก้ว) ในบริเวณที่ดอน ทั้งนี้เพราะเราลดค่า n (ดัชนีหักเหของแก้ว) ไม่ได้ จึงต้องลดความหนาของแก้วเฉพาะบางบริเวณ การทำเช่นนี้เรียกว่า "การขัดเฉพาะที่" (local figuring) เราจะขัดหน้าใดหน้าหนึ่ง จนกระทั่งค่าระยะทางทัศน์เท่ากันตลอด ซึ่งถ้าค่านี้เท่ากันแล้ว หน้าคลื่นที่ผ่านแก้วหรือปริซึมออกไปยังคงเป็นหน้าคลื่นของลำแสงขนาน ทำให้ได้ริ้วการแทรกสอด ที่มีค่าความเข้มสม่ำเสมอตลอดภาพการแทรกสอด

4.2.3.2.3 <u>ริ้วการแทรกสอดที่เกิดจากลำแสงหนึ่งผ่านเลนส์</u>



รูป 1.12 การจัดอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบความคลาดของเลนส์ L

การจัดวางอุปกรณ์ จะใช้กระจก M_2 เป็นกระจกนูน ที่เป็นผิวทรงกลมอย่างแท้จริง วางในแนวที่แสงถูกบีบจากเลนส์นูนที่จะทดสอบ และปรับให้จุดศูนย์กลางของกระจกนั้น ทับกับจุดโฟกัสของเลนส์นูนL ซึ่งต้องใช้ความละเอียดในการปรับระยะนี้มาก ทั้งนี้เพื่อให้แสงที่สะท้อนกลับ จะได้กลับในแนวเดิม

ริ้วการแทรกสอดที่ได้ จะบอกความคลาดของเลนส์ เป็นความคลาดเชิงหน้าคลื่น รายละเอียดจะไม่กล่าวถึง เพราะไม่อยู่ในขอบเขตของการศึกษาทางวิทยานิพนธ์