



รายงานการวิจัย
การออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลข
(Digital Hearing Aids Designs)

โดย

พิเชษฐ์	ศรีสังข์งาม
ชัยยศ	เดชสุระ
อภิชาติ	กระจำเญา

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ปีพุทธศักราช 2555

คำนำ

รายงานการวิจัยฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อรายงานผลการวิจัยเรื่อง การออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลข โดยการออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลขจะใช้การออกแบบตัวกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัด (ไอโออาร์) ด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โครงสร้างของตัวกรองไอโออาร์ประกอบด้วยตัวกรองแบบแถบความถี่ต่ำผ่าน ตัวกรองแบบแถบความถี่ผ่าน และตัวกรองแบบแถบความถี่สูงผ่านในรูปแบบขนาน สัมประสิทธิ์ตัวกรองของทั้งสามชนิดจะได้จากการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อให้ค่าผิดพลาดระหว่างผลตอบสนองต่อขนาดที่ต้องการและตอบสนองต่อขนาดที่แท้จริงน้อยที่สุด เพื่อเพิ่มความสามารถในการได้ยินที่ดีขึ้นของผู้สูญเสียการได้ยิน ผลการวิจัยที่ได้จากการจำลองการทำงานแสดงความถูกต้องแม่นยำของการชดเชยการสูญเสียการได้ยินที่ดีมาก องค์ความรู้บางส่วนจากงานวิจัยได้นำไปถ่ายทอดให้กับนักศึกษา คณะครุศาสตร์ บัณฑิตคณะครุศาสตร์ และครู เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจในการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการออกแบบทางวิศวกรรมกับการจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน

นอกจากนี้ผลงานวิจัยยังได้นำไปใช้ประโยชน์ทางด้านวิชาการโดยการนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 1 บทความและนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติจำนวน 1 บทความ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข และจะเข้าร่วมนิทรรศการการนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ (Thailand Research Expo) ซึ่งจัดโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ณ เซ็นทรัลเวิลด์พลาซ่า กรุงเทพมหานครต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี เนื่องจากการสนับสนุนของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ รศ. ดร. สุรพันธ์ ยิ้มมั่น ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์และอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ รศ. ดร. กอบชัย เดชหาญ และดร. ศรวัฒน์ ชิวปรีชา ภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดร. สุขแสง คุณนก คุณวดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล (น้องโม) คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
ขอบเขตของการวิจัย	2
ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	3
วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	3
ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	3
 บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	 4
เครื่องช่วยฟัง	4
สรีรวิทยาของหู	5
เซลล์ขน	10
การสูญเสียการได้ยิน	11
การสูญเสียการได้ยินเนื่องจากเสียงดัง	13
การตรวจการได้ยิน	14
วิธีการตรวจหาระดับการได้ยิน	16
เทคนิควิธีการตรวจการได้ยิน	16
การเตรียมผู้ถูกทดสอบ	17
การบันทึกผลการตรวจ	18
การออกแบบตัวกรองแบบแอนาล็อก	21
ต้นแบบตัวกรองแอนาล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่าน	24
การออกแบบตัวกรองเชิงเลข	29
องค์ประกอบของตัวกรองเชิงเลข	30
ตัวกรองเชิงเลขแบบเอฟไออาร์	30
การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบเอฟไออาร์	33
การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบเอฟไออาร์ด้วยฟังก์ชันวินโดว์	36

สารบัญ

	หน้า
การออกแบบตัวกรองความถี่สูงผ่าน, ช่วงความถี่ผ่าน, ช่วงความถี่หยุดแบบเอพไออาร์	37
ตัวกรองเชิงเลขแบบไอไออาร์	39
การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบไอไออาร์	41
การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบไอไออาร์ด้วยวิธีประมาณค่าเบี่ยงเบน	42
การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบไอไออาร์ด้วยวิธีการแปลงเชิงเส้นคู่	45
ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	48
การสอนแบบโครงการ	54
กระบวนการของกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงการ	56
ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	58
แนวทางการจัดการเรียนรู้	58
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลขและเนื้อหาการอบรม	60
เชิงปฏิบัติการ	
การออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลข	60
โครงสร้างของตัวกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัด	61
การหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเชิงเลขอิมพัลส์ไม่จำกัด	63
ด้วยตัวดำเนินการปาสคาลเมทริกซ์	
วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของสัมประสิทธิ์ของชุดตัวกรองเชิงเลขปรับค่าได้	66
เนื้อหาการอบรมเชิงปฏิบัติการ	69
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย	74
วิธีการวิจัย	74
ผลการวิจัย	76
อภิปรายผลการวิจัย	84
การถ่ายทอดองค์ความรู้จากการวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอน	88
แบบโครงการ	

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	90
สรุปผลการวิจัย	90
ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการวิจัย	90
ข้อเสนอแนะการวิจัย	90
ภาคผนวก ก โปรแกรมจำลองการทำงาน	
ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	
ภาคผนวก ค ภาพการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ตารางที่ 1.2 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	3
ตารางที่ 1.3 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	3
ตารางที่ 2-1 ระดับความบกพร่องของการไคยีน	20
ตารางที่ 2-2 ระดับการไคยีนกับตัวอย่างเสียง	20
ตารางที่ 2.3 การแปลงตัวกรอง	29
ตารางที่ 4.1 ค่าผิดพลาดในการหาคะพจน์การสูญเสียการไคยีนของขั้นตอนวิธีแต่ละขั้นตอนวิธีและ ตัวกรองเชิงอุปมานต้นแบบแต่ละชนิด	84
ตารางที่ 4.2 ค่าผิดพลาดในการหาคะพจน์การสูญเสียการไคยีนที่ความถี่สุ่ม 16 กิโลเฮิร์ต ของขั้นตอนวิธีแต่ละขั้นตอนวิธีและตัวกรองเชิงอุปมานต้นแบบแต่ละชนิด	85
ตารางที่ 4.3 ค่าผิดพลาดในการหาคะพจน์การสูญเสียการไคยีนที่ความถี่สุ่ม 24 กิโลเฮิร์ต ของขั้นตอนวิธีแต่ละขั้นตอนวิธีและตัวกรองเชิงอุปมานต้นแบบแต่ละชนิด	86
ตารางที่ 4.3 ค่าผิดพลาดในการหาคะพจน์การสูญเสียการไคยีนที่ความถี่สุ่ม 24 กิโลเฮิร์ต ของขั้นตอนวิธีแต่ละขั้นตอนวิธีและตัวกรองเชิงอุปมานต้นแบบแต่ละชนิด	87
ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินระดับความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม ที่มีต่อการเข้ารับการอบรม	88
ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินระดับความรู้ ความเข้าใจของผู้ตอบแบบสอบถาม ที่มีต่อเนื้อหาที่เข้ารับการอบรม	89

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 เครื่องช่วยฟังแบบต่าง ๆ	5
ภาพที่ 2.2 สรีรวิทยาของหู	5
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างส่วนที่ทำหน้าที่รับเสียงของหูชั้นใน	8
ภาพที่ 2.4 ลักษณะเซลล์ขนในอวัยวะคอร์ติ	9
ภาพที่ 2.5 การนำสัญญาณประสาทเกี่ยวกับการได้ยิน	10
ภาพที่ 2.6 แผนภาพการได้ยิน (Audiogram)	13
ภาพที่ 2.7 การตรวจโดยใช้โอโตสโคป	14
ภาพที่ 2.8 การตรวจการได้ยินด้วยวิธีเวบบ์	14
ภาพที่ 2.9 การตรวจการได้ยินด้วยวิธีรินเน	15
ภาพที่ 2.10 เครื่องวัดเสียง	15
ภาพที่ 2.11 เครื่องวัดเสียง	17
ภาพที่ 2.12 การบันทึกผลการตรวจแบบ AC และ BC ของหูข้างขวา	18
ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างใบบันทึกผลการตรวจการได้ยิน	19
ภาพที่ 2.14 ผลตอบสนองของวงจรกรองความถี่ในอุดมคติแบบต่าง ๆ	21
ภาพที่ 2.15 วงจรกรองสัญญาณแอนาล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่าน	22
ภาพที่ 2.16 ผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง	23
ภาพที่ 2.17 ผลตอบสนองทางเฟสของตัวกรองแอนาล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง	24
ภาพที่ 2.18 ผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ	25
ภาพที่ 2.19 ผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่าน	26
แบบเชบีเชฟชนิดที่หนึ่ง	
ภาพที่ 2.20 ผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่าน	27
แบบเชบีเชฟชนิดที่สอง	
ภาพที่ 2.21 ผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่านแบบอิลิปติก	28
ภาพที่ 2.22 แผนภาพการทำงานของตัวกรองเชิงเลขพื้นฐาน	29
ภาพที่ 2.23 องค์ประกอบพื้นฐานทั้ง 3 ตัวที่ใช้เป็นส่วนประกอบของตัวกรองเชิงเลข	30
ภาพที่ 2.24 โครงสร้างของตัวกรองเอฟไออาร์	31
ภาพที่ 2.25 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของเฟสเชิงเส้นของตัวกรอง 4 ชนิด	33
ภาพที่ 2.26 ผลตอบสนองความถี่และผลตอบสนองอิมพัลส์ในทางอุดมคติ	34

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.27 ผลการตอบสนองความถี่	35
ภาพที่ 2.28 ผลการตอบสนองความถี่ด้วยฟังก์ชันวินโดว์	36
ภาพที่ 2.29 กราฟตอบสนองความถี่ของออลพาสฟิลเตอร์, โลพาสฟิลเตอร์, ไฮพาสฟิลเตอร์	37
ภาพที่ 2.30 กราฟผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน 2 ความถี่และกราฟ ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองช่วงความถี่ผ่าน	38
ภาพที่ 2.31 ผลตอบสนองของตัวกรองออลพาส, ช่วงความถี่ผ่าน, และช่วงความถี่หยุด	39
ภาพที่ 2.32 โครงสร้างของตัวกรองไอโออาร์แบบตรง I	40
ภาพที่ 2.33 โครงสร้างตัวกรองไอโออาร์แบบตรง II	41
ภาพที่ 2.34 โครงสร้างตัวกรองไอโออาร์แบบตรง II	42
ภาพที่ 2.35 ระบบแอนะล็อกที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น $H(s)$	43
ภาพที่ 2.36 ระบบไม่ต่อเนื่องที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนเท่ากับ $H(z)$	43
ภาพที่ 2.37 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (RC Lowpass filter)	44
ภาพที่ 2.38 โครงสร้างตัวกรองเชิงเลขความถี่ต่ำผ่าน 1 ลำดับ	45
ภาพที่ 2.39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อยู่บนระนาบเอสกับค่าที่อยู่บนระนาบแซดและจากสมการ	47
ภาพที่ 2.40 กระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบง่าย	54
ภาพที่ 2.41 โครงงานคอมพิวเตอร์	55
ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของชุดตัวกรองสัญญาณ	61
ภาพที่ 3.2 การปรับค่าผลตอบสนองทางขนาดและความถี่ตัดของชุดตัวกรองแบบปรับค่าได้	62
ภาพที่ 3.3 รหัสเทียมขั้นตอนวิธี Nelder-Mead เพื่อการหาค่าเหมาะสมที่สุด	66
ภาพที่ 3.4 การหาตำแหน่งของค่าต่าง ๆ ด้วยวิธีการ Nelder-Mead	67
ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	68
ภาพที่ 4.1 ภาพบันทึกการได้ยีนที่ความถี่ต่าง ๆ	74
ภาพที่ 4.2 ผลการจำลองการทำงานเพื่อชดเชยความถี่ของผู้สูญเสียการได้ยินแบบที่ 1	76
ภาพที่ 4.3 ผลการจำลองการทำงานเพื่อชดเชยความถี่ของผู้สูญเสียการได้ยินแบบที่ 2	77
ภาพที่ 4.4 ผลการจำลองการทำงานเพื่อชดเชยความถี่ของผู้สูญเสียการได้ยินแบบที่ 3	78
ภาพที่ 4.5 ผลการจำลองการทำงานเพื่อชดเชยความถี่ของผู้สูญเสียการได้ยินแบบที่ 4	79
ภาพที่ 4.6 ผลการจำลองการทำงานเพื่อชดเชยความถี่ของผู้สูญเสียการได้ยินแบบที่ 5	80
ภาพที่ 4.7 ผลการจำลองการทำงานเพื่อชดเชยความถี่ของผู้สูญเสียการได้ยินแบบที่ 6	81

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 4.8 ผลการจำลองการทำงานเพื่อชดเชยความถี่ของผู้สูญเสียการได้ยินแบบที่ 7	82
ภาพที่ 4.9 ผลการจำลองการทำงานเพื่อชดเชยความถี่ของผู้สูญเสียการได้ยินแบบที่ 8	83

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการแพทย์ที่ก้าวหน้าขึ้นส่งผลให้จำนวนประชากรสูงอายุของโลกรวมทั้งของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สำหรับจังหวัดพระนครศรีอยุธยาพบว่า กลุ่มประชากรวัยนี้ มีมากขึ้นเช่นกัน และอายุคาดเฉลี่ยประชากรเพศชาย เท่ากับ 69 ปี และอายุคาดเฉลี่ยเพศหญิงเท่ากับ 76 ปี ซึ่งต่ำกว่าอายุขัยเฉลี่ยประชากรของประเทศไทยทั้งเพศชายและหญิง (ค่าเฉลี่ยอายุขัยประชากรของประเทศไทย เพศชาย 69.9 ปีและเพศหญิง 76.6 ปี) [1]

โดยทั่วไปแล้วผู้สูงอายุจะมีการสูญเสียการได้ยิน (hearing loss) ซึ่งจะเป็นปัญหามากกับการสื่อสารระหว่างผู้สูงอายุและบุคคลที่เกี่ยวข้อง ทำให้ศักยภาพด้านต่างๆ ของผู้สูงอายุลดลง และทำให้ผู้สูงอายุเกิดความสูญเสียความมั่นใจในคุณค่าตนเอง ในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเครื่องช่วยฟัง (Hearing Aids) เพื่อทำให้ผู้สูงอายุได้ยินเสียงชัดเจนขึ้น แม้ว่าในปัจจุบันจะมีผู้ศึกษา ออกแบบ และพัฒนาเครื่องช่วยฟังเพิ่มมากขึ้น แต่ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นชาวต่างประเทศ เนื่องจากเครื่องช่วยฟังจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีหลายด้านในการผลิต เช่น เทคโนโลยีระบบฝังตัว (Embedded systems) ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Microelectronics) การประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (Digital signal processing) เป็นต้น เพื่อลดช่องว่างนี้ ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องเร่งพัฒนาบุคลากรที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญในด้านต่างๆเหล่านี้ เพื่อที่จะได้สามารถพึ่งพาตนเองได้ ตามแนวคิดปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

อนึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าในแต่ละปีจะมีนักเรียนสนใจอยากเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์เป็นจำนวนมาก แต่จากการที่คณะผู้วิจัยเป็นผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาผลงานวิชาการในกลุ่มสาระวิชาการงานอาชีพและเทคโนโลยีของสำนักเขตพื้นที่การศึกษาต่าง ๆ พบว่าครูส่วนมากไม่ได้จบทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทดลองนำองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยบางส่วนไปถ่ายทอดให้กับครู เพื่อให้นำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอน เพื่อแก้ปัญหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่ต่ำลงทุกปี ซึ่งในปัจจุบันกลายเป็นปัญหาระดับชาติ เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการแข่งขันของประเทศ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลข
2. ถ่ายทอดองค์ความรู้บางส่วนให้กับนักศึกษาครูและครูประจำการในกลุ่มสาระการเรียนรู้
การงานอาชีพและเทคโนโลยี

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลขที่ประกอบด้วยชุดตัวกรองเชิงเลข ชนิด
ผลตอบสนอง อิมพัลส์ไม่จำกัด (IIR Filter Bank)
2. ถ่ายทอดองค์ความรู้บางส่วนให้กับนักศึกษาครูและครูประจำการในกลุ่มสาระการงานอาชีพและ
เทคโนโลยีโดยการจัดประชุมอบรมปฏิบัติการ

ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

นักศึกษาครูและครูประจำการในกลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยีมี
ความรู้ ความสามารถในการจัดการเรียนรู้เพิ่มมากขึ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ตารางที่ 1.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หน่วยงานที่จะนำ งานวิจัยไปใช้ประโยชน์	ประโยชน์	แนวทางที่จะนำไปใช้ประโยชน์
1. สถาบันการศึกษา 2. สำนักเขตพื้นที่ การศึกษา	1. นำองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยไปพัฒนา ต่อยอด 2. เป็นการพัฒนาบุคลากรให้สามารถจัดการ เรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่สอนแต่ใน ตำรา อาจารย์สอนโดยใช้ประสบการณ์จริง ที่ได้รับมาจากการทำวิจัย ซึ่งแน่นอนว่า ไม่ได้มีเพียงปัญหาทางเทคนิคเท่านั้น แต่มี ปัญหาอื่นๆ อีกมากมาย	1. นำเสนอผลงานทางวิชาการใน การประชุมระดับชาติหรือนานาชาติ 2. นักวิจัยซึ่งเป็นอาจารย์ และครู ประจำการนำองค์ความรู้ที่ได้จาก การวิจัยส่วนหนึ่งไปจัดการเรียน การสอน 3. บริการวิชาการ
โรงเรียนต่าง ๆ	1. นักศึกษาครูและครูประจำการมีความรู้ ความสามารถด้านเทคโนโลยีมากขึ้น	1. นำความรู้ไปจัดการเรียนการสอน ในสถานศึกษา

แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

ตารางที่ 1.2 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

วิธีการ	ช่วงเวลา	กลุ่มเป้าหมาย	สถานที่	ลักษณะสื่อ
1.นำเสนอในการประชุมวิชาการ	ก.ย. 54	อาจารย์ นักศึกษานักวิชาการ และผู้ที่สนใจทั่วไป	ตามที่มีผู้จัดการประชุมกำหนด	บรรยาย/ โปสเตอร์
2. อบรมครูและบุคลากรทางการศึกษา	ก.ย. 54	ครูและบุคลากรทางการศึกษา	-มหาวิทยาลัยราชภัฏ พระนครศรีอยุธยา	-รายงานการวิจัย - เอกสารประกอบ - เอกสารออนไลน์

วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1. ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาเอกสารเพื่อหาแนวทางในการออกแบบเครื่องช่วยฟัง

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบเครื่องช่วยฟัง

ขั้นตอนที่ 3 จัดประชุมเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพฯ

ขั้นตอนที่ 4 เก็บข้อมูลผลการวิจัย

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลโครงการวิจัย

2. การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สถิติร้อยละ ค่าเฉลี่ย และ SD. ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

3. สถานที่ทำการศึกษา ได้แก่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ตารางที่ 1.3 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

กิจกรรม	พ.ศ. 2554-2555			
	ตค.54- ธค.55	มค.55- มีค.55	เมษ.55- มิย.55	กค.55- กย.55
ศึกษาเอกสาร	→			
ออกแบบเครื่องช่วยฟัง		→	→	
จัดประชุมเพื่อพัฒนาครู			→	
วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย				→
จัดทำรายงานการวิจัย				→
นำเสนอผลการวิจัยในการประชุมวิชาการ				→

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เครื่องช่วยฟัง

เครื่องช่วยฟัง (Hearing aids) คือ เครื่องขยายเสียงขนาดเล็กสำหรับผู้มีปัญหาทางการได้ยิน ประกอบด้วยไมโครโฟนจิ๋ว ทำหน้าที่รับเสียงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปที่เครื่องขยายเสียง เพื่อขยายสัญญาณไฟฟ้าให้เหมาะสมกับผู้ใช้และลำโพงจิ๋วทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้กลายเป็นสัญญาณเสียงส่งเข้าไปในหู มีหลายขนาดและหลากหลายรูปแบบ เครื่องช่วยฟังช่วยผู้สูญเสียการได้ยินรับฟังเสียงได้ดีขึ้น และใช้ชีวิตได้อย่างปกติขึ้น แต่บางครั้งผู้มีปัญหาทางการได้ยินบางคนอาจไม่ต้องการเครื่องช่วยฟัง ซึ่งจะให้คุณหมอที่เชี่ยวชาญเฉพาะทางวินิจฉัยว่าจำเป็นต้องใช้เครื่องช่วยฟังหรือไม่ เพราะผู้ที่มีปัญหาทางการได้ยินบางประเภทสามารถรักษาให้หายขาดได้ไม่ต้องใส่เครื่องช่วยฟัง (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554) เครื่องช่วยฟังแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. แบบกล่อง

เครื่องช่วยฟังแบบกล่องเหมาะสำหรับผู้ที่มีประสาทหูเสื่อมมากถึงรุนแรงมาก เครื่องช่วยฟังแบบนี้มีสายต่อจากตัวเครื่องแบบกล่องที่มีขนาดเท่าโทรศัพท์ไร้สาย

2. แบบแขวนหลังหู

เครื่องช่วยฟังแบบแขวนหลังหูเหมาะสำหรับผู้ที่มีประสาทหูเสื่อมปานกลางถึงรุนแรงมาก เสียงจะถูกขยายจากตัวเครื่องผ่านท่อเล็กเข้ารูหูโดยมีหูเห็ด หรือแบบพิมพ์หูยึดติดให้ติดกับหู

3. แบบใส่ในช่องหู ซึ่งแบ่งตามขนาดได้ 3 แบบ

3.1 แบบจี้ใส่ในรูหู (Completely in the canal)

เครื่องช่วยฟังแบบนี้เหมาะสำหรับผู้ที่มีประสาทหูเสื่อมเล็กน้อยถึงปานกลางซ่อนน้อยในรูหูมองสังเกตไม่เห็นจากคนรอบข้าง ทำงานแบบอัตโนมัติ แต่อาจเพิ่มปุ่มปรับความดังหรือใช้รีโมทควบคุมได้

3.2 แบบ เล็กใส่ในช่องหู (In the canal)

เครื่องช่วยฟังแบบนี้เหมาะสำหรับผู้ที่มีประสาทหูเสื่อมปานกลางถึงมาก ตัวเครื่องช่วยฟังซ่อนอยู่ในช่องหู คนรอบข้างจึงสังเกตไม่เห็น ทำงานแบบอัตโนมัติ มีปุ่มปรับความดัง หรือใช้รีโมทควบคุมได้

3.3 แบบใหญ่ใส่ในช่องหู (In the Ear)

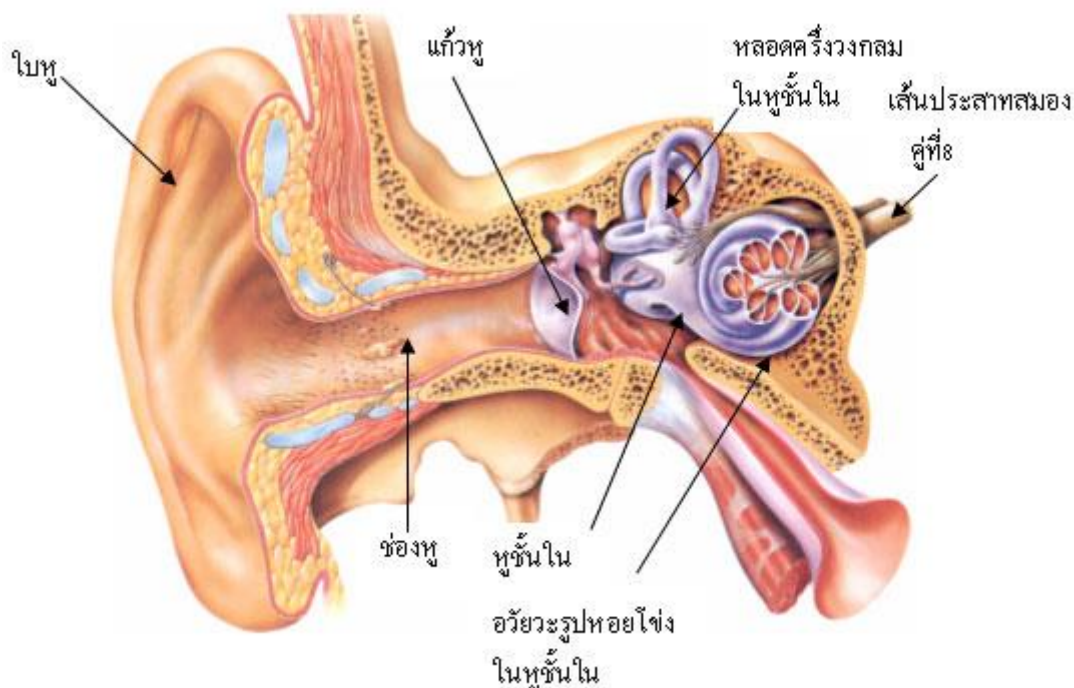
เครื่องช่วยฟังแบบนี้เหมาะสำหรับผู้ที่มีการสูญเสียการได้ยินปานกลางถึงมาก ตัวเครื่องช่วยฟังไม่สามารถซ่อนอยู่ในช่องหู จึงทำให้สังเกตได้จากคนรอบข้าง ทำงานแบบอัตโนมัติ มีปุ่มปรับความดัง หรือใช้รีโมทควบคุมได้ (Eartone, 2554)



ภาพที่ 2.1 เครื่องช่วยฟังแบบต่าง ๆ (Eartone, 2554)

สรีรวิทยาของหู

การออกแบบเครื่องช่วยฟังจะต้องมีความรู้ ความเข้าใจในเรื่องสรีรวิทยาของหูเป็นอย่างดี หูประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ หูชั้นนอก หูชั้นกลาง และหูชั้นใน เราสามารถได้ยินเสียง เนื่องจากการที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่จากหูชั้นนอก เข้าสู่หูชั้นกลางและเข้าสู่หูชั้นใน



ภาพที่ 2.2 สรีรวิทยาของหู (สารานุกรมพื้นฐานของร่างกายมนุษย์ (2545) หน้า 46)

1. หูชั้นนอก

หูชั้นนอก (External ear) ประกอบด้วย

1.1 ใบหู (Auricle หรือ Pinna) เป็นกระดูกอ่อนชนิด Elastic cartilage ยึดติดกับศีรษะโดยกล้ามเนื้อและลิแกเมนต์ (Ligament) ใบหูทำหน้าที่รับคลื่นเสียง

1.2 รูหู (External auditory meatus) เป็นท่อโค้งรูปตัวเอสอยู่ในกระดูกเทมโปราล (Temporal) เริ่มต้นจากใบหูไปจนถึงเยื่อแก้วหู ชั้นผิวหนังในรูหามีขนเล็กๆ ต่อมเหงื่อและต่อมไขมัน เรียกว่า ซีรูไมนัสแกรนด์ (Ceruminous gland) ทำหน้าที่สร้างสารมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้งสีน้ำตาลคือขี้หู (Ear wax or cerumen) ทั้งขนและขี้หูจะช่วยป้องกันสิ่งแปลกปลอมที่เข้าไปในหู

1.3 เยื่อแก้วหู (Ear drum or tympanic membrane) เป็นแผ่นเนื้อเยื่อบางๆกั้นระหว่างหูชั้นนอกกับหูชั้นกลาง ผิวด้านนอกเว้าเข้าชนิดคานในนูน เยื่อแก้วหูจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนคลื่นเสียงให้เป็นการสั่นสะเทือน

2. หูชั้นกลาง

หูชั้นกลาง (Middle ear) มีลักษณะเป็นโพรงติดต่อกับโพรงจมูกและมีท่อติดต่อกับคอหอย เรียกว่าท่อยูสเทเชียน (Eustachian tube or auditory tube) ปกติท่อนี้จะปิด แต่ขณะเคี้ยวหรือกลืนอาหาร ท่อนี้จะขยับเปิดเพื่อปรับความดัน 2 ด้านของเยื่อแก้วหูให้เท่ากัน ความแตกต่างระหว่างความดันอากาศภายนอกและภายในหูชั้นกลางอาจทำให้เยื่อแก้วหูถูกดันให้โป่งออกหรือถูกดันเข้า ทำให้การสั่นและการนำเสียงของเยื่อแก้วหูลดลง หากมีการอุดตันของท่อนี้จะทำให้หูอื้อหรือปวดหู ร่างกายจึงมีการปรับความดันในช่องหูชั้นกลางโดยผ่านแรงดันอากาศบางส่วนไปทางท่อยูสเทเชียน ซึ่งถ้ามีเชื้อโรคในคอหรือจมูกจะมีผลให้เชื้อโรคเข้าสู่หูชั้นกลางทางท่อนี้และทำให้เกิดการอักเสบในหูได้ง่ายขึ้น โครงสร้างของอวัยวะในหูชั้นกลางที่สำคัญมีดังนี้

2.1 กระดูกภายในหูชั้นกลาง (Auditory ossicles) ประกอบด้วย กระดูกน้อน (Malleus) กระดูกทั่ง (Incus) กระดูกโกลน (Stapes) กระดูกทั้ง 3 ชิ้น จะยึดติดกันเป็นระบบคานาคานังค (Lever system) เพื่อนำคลื่นเสียงที่มากระทบเข้าไปสู่หูชั้นใน

2.2 กล้ามเนื้อของหูชั้นกลาง (Middle ear muscles) มี 2 มัดคือ

2.2.1 กล้ามเนื้อเทนเซอร์ทิมพานิ (Tensor tympani muscle) เลี้ยงด้วยเส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 มีหน้าที่ทำให้แก้วหูตึงโดยถูกดึงเข้าข้างใน ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความถี่ให้กับเสียงสะท้อน (resonant frequency) ของระบบการนำเสียง ทำให้รับเสียงที่มีความถี่ต่ำได้ดีขึ้น

2.2.2 กล้ามเนื้อสเตปีดียัส (Stapedius muscle) เลี้ยงด้วยเส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 ยึดเกาะที่ด้านหลังของกระดูกโกลน (stapes) มีหน้าที่ดึงกระดูกโกลนมาทางด้านหลัง เพื่อช่วยป้องกัน

หูชั้นในจากเสียงที่ดังมากๆจะเห็นได้ว่าการทำงานของกล้ามเนื้อทั้งสองมัดจะช่วยปรับและป้องกันการกระเทือนต่อหูชั้นกลางและหูชั้นในที่มีสาเหตุจากเสียงที่ดังมากๆ โดยเฉพาะเสียงที่มากระทบเยื่อแก้วหูซึ่งมีความดันเกิน 85 เดซิเบล

2.2.3 เส้นประสาทที่ผ่านหูชั้นกลางได้แก่ แขนงของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 (chorda tympani nerve) แขนงของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 (glossopharyngeal nerve) และแขนงของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 (trigeminal nerve)

เนื่องจากโครงสร้างของหูชั้นกลางที่ติดต่อกับหูชั้นนอกทางเยื่อแก้วหู และติดต่อกับช่องทางที่อยู่สเตเชียน ติดต่อกับหูชั้นในทางหน้าต่างรูปไข่ (oval window) และหน้าต่างรูปกลม (round window) โดยทั้งช่องหน้าต่างรูปไข่และรูปกลมจะมีเยื่อบางๆ กันอยู่ (oval window membrane) และ round window membrane) ช่วยให้หูชั้นกลางสามารถทำหน้าที่สำคัญ 2 อย่างได้เป็นอย่างดี ประสิทธิภาพคือ การขยายเสียง (amplifying sound) และการป้องกันเสียงดัง (ear protection) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

3. หูชั้นใน

หูชั้นใน (Internal ear) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แลบบิรินท์ (Labyrinth) ฝังอยู่ในกระดูกเทมโปราล (Temporal bone) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

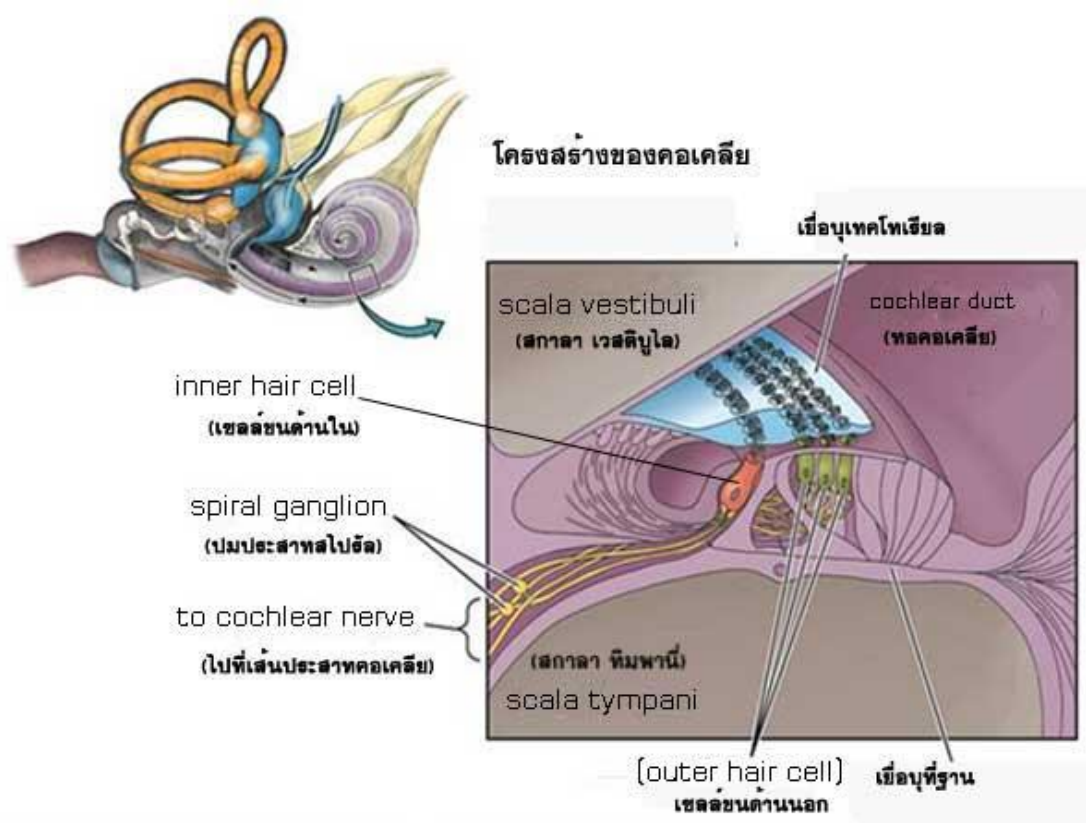
3.1 ส่วนที่ทำหน้าที่รับเสียง (Cochlea portion) ประกอบด้วยท่อกลมขดซ้อนกันเป็นรูปก้นหอย 2 รอบครึ่ง สูงประมาณ 5 มิลลิเมตร กว้าง 9 มิลลิเมตร ภายในของท่อกลมแบ่งออกเป็น 3 ช่อง สองช่องใหญ่เรียกว่า สกาลา เวสติบูลไ (Scala vestibuli) และสกาลา ทิมพาไน (Scala tympani) ซึ่งจะขนาบช่องเล็กตรงกลางเอาไว้โดยตลอดตั้งแต่ฐานจนถึงยอดของก้นหอย โดยบริเวณที่พบกันเรียกว่า เฮลิโคทรีมา (Helicotrema) ภายในสกาลาทั้งสองนี้จะมีของเหลวบรรจุอยู่เรียกว่า เพอริลิมฟ์ (Perilymphatic fluid) สกาลา ทิมพาไน (Scala tympani) จะติดต่อกับหูชั้นกลางทางหน้าต่างรูปกลม (Round window) และทางเปิดของสกาลา เวสติบูลไ (Scala vestibuli) จะติดต่อกับหูชั้นกลางทางหน้าต่างรูปไข่ (Oval window) ช่องตรงกลางที่ขนาบด้วย สกาลา เวสติบูลไ (Scala vestibuli) และสกาลา ทิมพาไน (Scala tympani) เรียกว่า สกาลามีเดีย (Scala media) หรือ ท่อคอเคลีย (Cochlea duct) ผนังที่กั้นท่อคอเคลีย (cochlea duct) จากสกาลา เวสติบูลไ (Scala vestibuli) เรียกว่าเยื่อเวสติบูลไ (Vestibular membrane) หรือเยื่อไรสเนอร์ (Reissner's membrane) ส่วนผนังที่กั้นจากสกาลา ทิมพาไน (Scala tympani) เรียกว่าเยื่อฐาน (Basilar membrane) ผนังด้านในของสกาลา มีเดีย (Scala media) เป็นบริเวณที่มีเส้นเลือดมาเลี้ยงจำนวนมากเรียกว่า สโตรอา วาสคิวลาริส (Stria vascularis) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตของเหลวเรียกว่า เอนโดลิมฟ์ (Endolymphatic fluid)

ของเหลวที่ผลิตออกมาจะขังรวมอยู่ใน สกาลา มีเดีย (Scala media) นอกจากนี้ภายในสกาลา มีเดีย (scala media) ยังมีอวัยวะสำหรับรับเสียง เรียกว่าอวัยวะคอร์ติ (Organ of Corti) ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

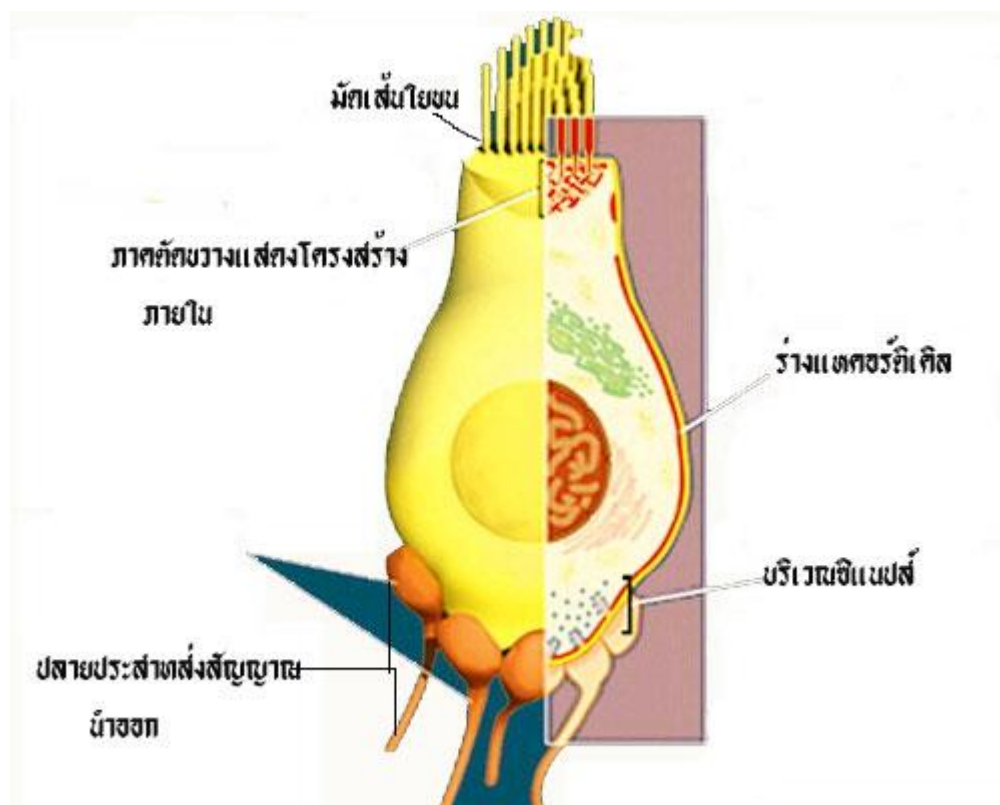
3.1.1 เซลล์ขน (Hair cells) เป็นตัวรับการกระตุ้นของเสียง ซึ่งมีอยู่สองแถว คือ แถวนอก (Outer hair cells) มีอยู่ราวๆ 12,000-20,000 เซลล์ ส่วนแถวใน (Inner hair cells) มีอยู่ราว 3,600 เซลล์ นอกจากนี้ยังมีเซลล์ประกอบอยู่ข้างเคียงอีกเล็กน้อย ซึ่งไม่มีความสำคัญนัก

3.1.2 แผ่นเยื่อบางๆ มีลักษณะเป็นแผ่นวุ้น (Gelatinous substance) เรียกว่า เยื่อบุเทคโทเรียล (Tectorial membrane) ซึ่งจะขยับขึ้นลงในขณะที่มีเสียงกระตุ้นหู และจะเป็นตัวกระตุ้นเซลล์ขนให้รู้สีกว่ามีเสียงมาสัมผัส

3.1.3 เส้นประสาทรับความรู้สึกจากเซลล์ประสาทรวมตัวกันเป็นปมประสาทเรียกว่า ปมประสาทสไปรัล (Spiral ganglions) จากนั้นจะรวมเป็นเส้นประสาทใหญ่ เรียกว่า เส้นประสาทอะคูสติก (Acoustic nerve) หรือเส้นประสาทคอเคลีย (Cochlear nerve) ซึ่งจะรวมเป็นเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 วิ่งเข้าสู่สมอง ส่วนที่เกี่ยวกับการได้ยิน (Auditory cortex) บริเวณพู่ด้านขมับ (Temporal lobe)

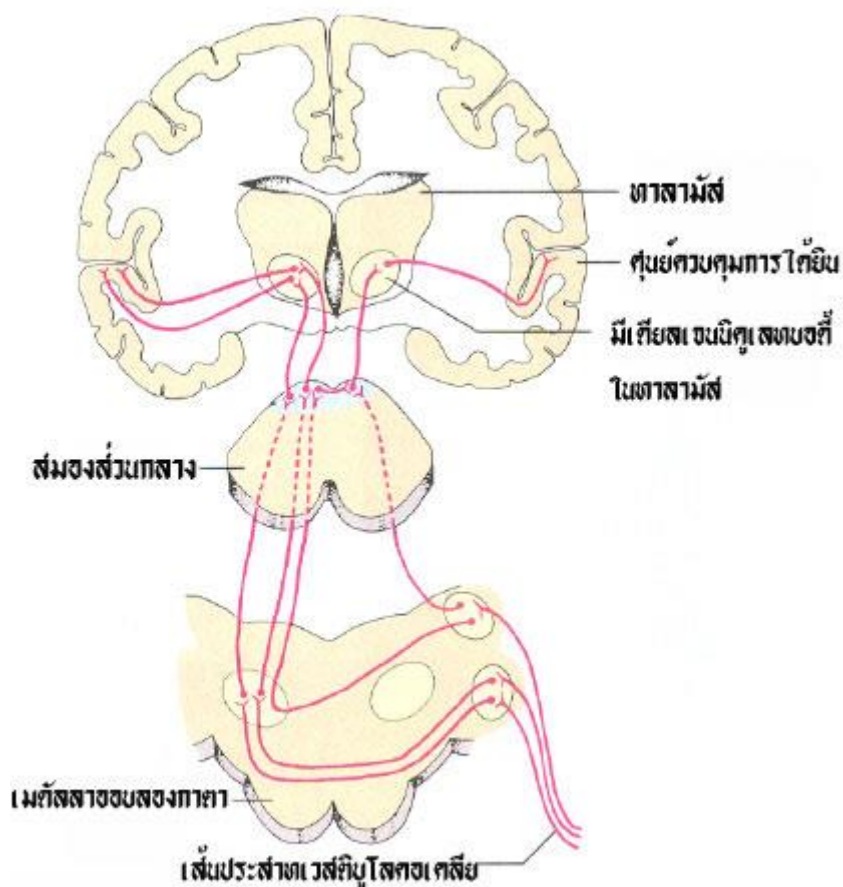


ภาพที่ 2.3 โครงสร้างส่วนที่ทำหน้าที่รับเสียงของหูชั้นใน
(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)



ภาพที่ 2.4 ลักษณะเซลล์ขนในอวัยวะคอร์ติ
(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

กระแสประสาทจากเซลล์ขนจะถูกส่งเข้าสู่ใยประสาทของเส้นประสาทคอเคลีย (cochlear nerve) และเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 (auditory nerve) เพื่อซิแนปส์กับเซลล์ประสาทตัวที่ 2 ที่คอเคลีย นิวคลีอัส (cochlear nuclei) ของสมองส่วนพอนต์และเมดัลลาจากนั้นจะซิแนปส์กับเซลล์ประสาทตัวที่ 3 ที่มีเดียลเจเนอริกูลาตอดี (medial geniculate body) และอินฟีเรียคอลลิกูลัส inferior colliculus) ในสมองส่วนกลาง แล้วส่งไปยังศูนย์การได้ยิน (auditory cortex) ในสมองส่วนพูด้านขมับ (temporal lobe) ดังภาพที่ 2.4 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)



ภาพที่ 2.5 การนำสัญญาณประสาทเกี่ยวกับการได้ยิน
(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

เซลล์ขน

เซลล์ขน (Hair cell) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ เซลล์ขนชั้นนอกและเซลล์ขนชั้นใน

1. เซลล์ขนชั้นนอกทำหน้าที่รับข้อมูลเสียง ขยายสัญญาณเสียงและปรับแต่งเสียงที่ได้
2. เซลล์ขนชั้นในทำหน้าที่รับข้อมูลเสียงไปยังประสาทการได้ยิน จากนั้นประสาทการได้ยินจะแปลงให้เป็นคลื่นประสาทแล้วส่งต่อไปยังสมองเพื่อแปลความหมาย แต่ละเซลล์ขนจะมีความยาวไม่เท่ากันและมีความจำเพาะเจาะจงต่อความถี่ใดความถี่หนึ่ง ถ้าเซลล์ขนได้รับเสียงที่มีความเข้มของเสียงมากกว่า 85 เดซิเบลติดต่อกันเป็นเวลานาน เซลล์ขนจะไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้ และหลุดร่วงไป ทำให้เกิดการขาดช่วงการเดินทางของเสียงไปยังสมอง จึงเกิดการสูญเสียการได้ยิน ซึ่งจะสูญเสียการได้ยินเฉพาะที่ความถี่เสียงดังนั้นๆ เสียงที่ดังมากๆ ทำให้เซลล์ขนเสื่อมหรือตาย จึงเป็นเหตุให้เกิดการหูตึงได้ 2 ลักษณะ คือ

2.1 การสูญเสียการได้ยินแบบฉับพลัน (Acoustic trauma) เมื่อได้ยินเสียงดังมากๆ เช่น เสียงระเบิด เสียงปืน เป็นต้น

2.2 การสูญเสียการได้ยินแบบค่อยเป็นค่อยไป (Noise induced hearing loss) เกิดขึ้นจากการทำงานหรือการใช้ชีวิตอยู่ในที่ ๆ มีเสียงดังเป็นเวลานานๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม, โรงเลื่อย, ตำรวจจราจร, นักจัดรายการเพลง เป็นต้น (ห้องสมุด E-Lib, 2554)

การสูญเสียการได้ยิน

การสูญเสียการได้ยิน (Hearing Loss) หมายถึง ความบกพร่องในการรับฟังเสียงที่ต่างไปจากความสามารถตามปกติเมื่อเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้

การสูญเสียการได้ยินหรือความบกพร่องทางการได้ยินแบ่งเป็นประเภทได้ตามลักษณะการทำงานดังนี้

1. การนำเสียงบกพร่อง (Conductive hearing loss) ความผิดปกติเกิดขึ้นในหูชั้นใน หูชั้นนอก และหูชั้นกลาง แต่ประสาทหูยังดีอยู่อาการของการนำเสียงบกพร่องคือ ผู้ป่วยจะได้ยินชัดเจนดีในสถานที่จอแจ และจะได้ยินไม่ค่อยดีในสถานที่เงียบๆ บางรายมีเสียงรบกวนในหู (Tinnitus) เป็นเสียงต่ำ การตรวจการได้ยินมักมีการสูญเสียในช่วงความถี่ต่ำ ๆ และไม่เกิน 60 เดซิเบล

1.1 สาเหตุของการนำเสียงบกพร่อง

1.1.1 สาเหตุเกิดกับหูชั้นนอกได้แก่ เกิดการหูฟิการตั้งแต่กำเนิด, มีสิ่งแปลกปลอมเข้าไปทำให้เกิดการอุดตันในช่องหู ขี้หูอุดตัน ฟันช่องหูอักเสบบวมจนตีบตัน เนื่องจากในช่องหูชั้นนอก และช่องหูพับลง

1.1.2 สาเหตุที่เกิดกับแก้วหู ได้แก่ มีเลือดออกในหูชั้นกลาง โรคหูน้ำหนวก โรคหูชั้นกลางมีหินปูนจับแข็ง ภาวะแทรกซ้อนจากการติดเชื้อไวรัสหรือกระดูก 3 ชิ้นแตกหรือหัก

2. การสูญเสียการได้ยินชนิดประสาทรับฟังเสียงบกพร่อง (Sensorineural hearing loss) เป็นภาวะที่เกิดความผิดปกติที่หูชั้นใน (Cochlea) ประสาทรับฟังเสียงบกพร่อง หรือที่ประสาทรับฟังเสียง (Acoustic nerve หรือ Auditory nerve) ทำให้มีความยากลำบากในการรับฟังเสียงโดยเฉพาะเสียงสนทนา คือ ได้ยินแต่ฟังไม่รู้เรื่อง เมื่อตรวจการได้ยินโดยเครื่องวัดเสียง (Audiometer) พบว่าระดับการได้ยินมากกว่า 25 เดซิเบลและอยู่ในช่วงความถี่สูง ๆ

2.1 สาเหตุของการสูญเสียการได้ยินชนิดประสาทรับฟังเสียงบกพร่อง

2.1.1 ประสาทรับฟังเสียงบกพร่องตั้งแต่กำเนิด เกิดจากขาดออกซิเจนขณะอยู่ในครรภ์หรือระหว่างคลอด ติดเชื้อตั้งแต่กำเนิดหรือหลังคลอด เช่น ซิฟิลิส, หัด, หัดเยอรมัน, คางทูม, สุกใส, ไข้หวัดใหญ่, ปอดอักเสบ การอักเสบของเยื่อหุ้มสมองหรือหูชั้นใน

2.1.2 ประสาทรับฟังเสียงบกพร่องจากยา ยาบางชนิดอาจจะทำให้มีอาการชั่วคราวเมื่อหยุดการใช้ยาการได้ยินก็จะกลับคืนมา แต่สำหรับยาบางชนิดเช่น คานาไมซิน (Kanamycin) สเตปโตไมซิน (Streptomycin) จะทำให้มีอาการประสาทรับฟังเสียงบกพร่องอย่างถาวร

2.1.3 ประสาทรับฟังเสียงบกพร่องจากเสียงดัง (Noise induced hearing loss)

2.1.4 โรคที่เกิดจากความผิดปกติเกี่ยวกับปริมาณของเหลวในหูชั้นใน (Meniere's disease) ทำให้มีอาการหูอื้อเวียนศีรษะ คลื่นไส้อาเจียน และมีเสียงรบกวนในหู อาจเกิดกับหูข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างก็ได้ อาการของโรคอาจจะเป็น ๆ หาย ๆ

2.1.5 ประสาทหูพิการจากการจับแฉะของกระดูกในหูชั้นใน

2.1.6 ประสาทหูบกพร่องในวัยชรา (Presbycusis hearing loss) เกิดจากเซลล์ขนในคอเคลีย (Cochlea) เกิดการเสื่อมสภาพตามอายุ ทำให้การรับฟังเสียงสูงๆ ได้ไม่ดี มักมีเสียงดังในหูเป็นความถี่สูงๆ ส่วนใหญ่จะตรวจพบในคนที่อายุ 40 ปีขึ้นไป

2.1.7 ศรีษะถูกกระทบกระเทือน ทำให้ประสาทรับฟังเสียงบกพร่องเล็กน้อยไปจนถึงระดับรุนแรง

3. การสูญเสียการได้ยินชนิดการรับฟังเสียงบกพร่องแบบผสม (Mixed hearing loss) เป็นภาวะที่เกิดจากความผิดปกติในการนำเสียงร่วมกับประสาทรับฟังเสียงบกพร่อง พบในโรคที่มีความผิดปกติที่หูชั้นนอก และหรือหูชั้นกลาง ร่วมกับความผิดปกติของหูชั้นใน เช่น โรคท่อน้ำหนวกรื้อรังซึ่งลุกลามเข้าไปในหูชั้นใน โรคในหูชั้นกลางผู้สูงอายุซึ่งมีปัญหาประสาทรับฟังเสียงเสื่อมด้วย โรคที่มีกระดูกจับแฉะที่แผ่นขาของกระดูกโกลนและมีพยาธิสภาพในหูชั้นในร่วมด้วย (Cochlea otosclerosis) โรคเหล่านี้รักษาด้วยการผ่าตัด อาจจะช่วยให้การได้ยินดีขึ้นได้ในระดับหนึ่ง คือการแก้ไขความผิดปกติเกี่ยวกับการนำเสียงได้ แต่ไม่สามารถแก้ไขสถานะประสาทหูบกพร่องได้

4. การรับฟังเสียงบกพร่องจากสมองส่วนกลาง (Central hearing loss) เป็นความบกพร่องของสมองส่วนกลางทำให้ผู้ป่วยได้ยินเสียงแต่ไม่สามารถแปลความหมายของสัญญาณเสียงได้ ขณะเดียวกันผู้ป่วยก็ไม่สามารถที่จะโต้ตอบสัญญาณเสียงนั้นกลับได้ด้วย เช่น ผู้ป่วยที่มีปัญหาหลอดเลือดสมองตีบ แตกหรือตัน ประสบอุบัติเหตุทางสมอง เป็นต้น

5. การรับฟังเสียงบกพร่องจากสภาวะทางจิตใจ (Functional หรือ Psychological hearing loss) เกิดจากความผิดปกติทางจิตใจ มิใช่เกิดจากสาเหตุทางร่างกาย

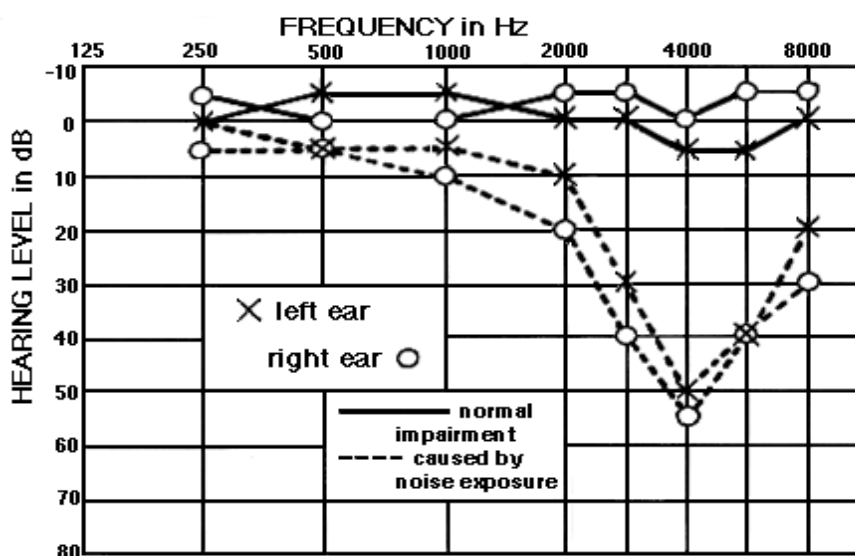
การสูญเสียการได้ยินเนื่องจากเสียงดัง

ประสาทหูผิดปกติเนื่องจากเสียงดังรบกวน (Noise Induced Hearing Loss)

1. การสูญเสียความสามารถในการได้ยินชั่วคราว (Temporary threshold shift : TTS) เกิดจากเซลล์ขนมีอาการล้าจากการสัมผัสกับเสียงดังต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้ไม่สามารถแปลงคลื่นเสียงให้เป็นคลื่นไฟฟ้าได้ เกิดอาการหูตึงชั่วคราว (Auditory fatigue) อาการหูตึงนี้มักพร้อมกับมีเสียงดังในหู (Tinnitus)

2. การสูญเสียความสามารถในการได้ยินถาวร (Permanent threshold shift : PTH) เกิดจากเซลล์ขน เกิดอาการล้าจนไม่สามารถได้ยินเสียงในระดับปกติได้และหากยังสัมผัสกับเสียงที่ดังอย่างต่อเนื่องต่อไป อาจทำให้เซลล์ขนถูกทำลายอย่างถาวร (Degenerative change of hair cell) ในระยะแรกการสูญเสียการได้ยินจะเริ่มที่ความถี่ของเสียง 3,000 – 6,000 เฮิรซ์ และมักจะพบว่ามีการสูญเสียที่ความถี่ 4,000 เฮิรซ์ ก่อนความถี่อื่นๆ มีเสียงรบกวนในหู ความไวของหูในการรับฟังเสียงลดลง เมื่อทำงานในที่ที่มีเสียงดังเป็นระยะเวลานานจะมีการสูญเสียการได้ยินทีละน้อยๆ โดยผู้ป่วยไม่รู้สึกรบกวนจนลุกลามไปถึงช่วงความถี่ 500 – 2,000 เฮิรซ์ ทำให้การรับฟังเสียงพูดไม่เข้าใจ ในกรณีที่มีความผิดปกติมากผู้ป่วยจะไม่สามารถบอกทิศทางของเสียง ที่ได้ยินได้

การตรวจภายในช่องหูไม่พบสิ่งผิดปกติ ตรวจวัดการได้ยินด้วยเครื่องตรวจวัดการได้ยินจะได้กราฟลักษณะเส้นประสาทหูผิดปกติดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.6 แผนภาพการได้ยิน (Audiogram) (Barry Truax, 2554)

การตรวจการได้ยิน

การตรวจการได้ยินสามารถจำแนกได้ 3 ประเภทคือ

1. การตรวจโดยใช้โอโตสโคป (Otoscope test) ดูสภาพภายในช่องหูชั้นนอกและเงาของช่องหูชั้น-กลาง เพื่อตรวจดูสถานะการอักเสบภายใน



ภาพที่ 2.7 การตรวจโดยใช้โอโตสโคป (DRE, 2554)

2. การตรวจการได้ยินด้วยส้อมเสียง (Tuning fork test) ส้อมเสียงเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากเหล็กหรืออลูมิเนียมเพื่อใช้ในการตรวจการได้ยิน โดยผู้ตรวจจะเคาะส้อมเสียงกับบริเวณที่แข็งแรงและยืดหยุ่นได้ เช่น ข้อศอกหรือหัวเข่าของตนเองเพื่อให้มีการสั่นสะเทือนของส้อมเสียง แต่เนื่องจากการตรวจด้วยวิธีนี้เป็นการตรวจด้วยความถี่ 512 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่เดียวจึงเป็นการตรวจการได้ยินชนิดคัดกรอง (Screening test)

การตรวจการได้ยินด้วยส้อมเสียงนิยมใช้กันมีอยู่ 2 วิธี คือ

2.1 วิธีเวบเบอ (Weber test) เป็นการทดสอบเพื่อแยกอาการของผู้ป่วยที่มีปัญหาการได้ยินแบบการนำเสียงบกพร่องกับผู้ป่วยที่มีประสาทรับฟังเสียงบกพร่อง โดยที่ผู้ป่วยต้องมีปัญหาเพียงหูเดียว



ภาพที่ 2.8 การตรวจการได้ยินด้วยวิธีเวบเบอ (Weber test)

(University of California San Diego School of Medicine, 2554)

2.2 การตรวจการได้ยินด้วยวิธีรินเน (Rinne test) เป็นการทดสอบให้ผู้ป่วยฟังเปรียบเทียบ การได้ยินเสียงผ่านทางอากาศ (Air conduction) และการได้ยินผ่านทางกระดูก (Bone conduction) ในหูข้างเดียวกัน เพื่อแยกว่าผู้ป่วยมีปัญหาการได้ยินแบบใด



ภาพที่ 2.9 การตรวจการได้ยินด้วยวิธีรินเน (Rinne test)

(University of California San Diego School of Medicine, 2554)

3. การตรวจการได้ยินด้วยเครื่องวัดเสียง (Audiometer) เป็นการตรวจวัดระดับความดังเสียงต่ำสุด ที่ผู้เข้ารับการตรวจสอบสามารถได้ยินที่ความถี่ต่างๆ วัดอุปประสงค์ในการวัดคือ

- 3.1 วัดระดับการสูญเสียการได้ยิน (Degree of hearing loss)
- 3.2 หาคำแหน่งพยาธิสภาพที่ทำให้เกิดปัญหาในการได้ยิน
- 3.3 ช่วยฟื้นฟูความสามารถในการได้ยินด้วยวิธีการทางแพทย์



ภาพที่ 2.10 เครื่องวัดเสียง

(Angelus Medical & Optical Co. Inc, 2554)

วิธีการตรวจหาระดับการได้ยิน

วิธีการตรวจหาระดับการได้ยินมี 3 วิธี

1. การทดสอบที่ทำเป็นประจำในคลินิกเพื่อการวินิจฉัยโรค หรือติดตามผลการรักษา (Routine audiometer)
2. การตรวจวัดการได้ยินโดยการนำเสียงทางอากาศ (Puretone air conduction (AC))
3. การตรวจวัดการได้ยินโดยการนำเสียงทางกระดูก (Puretone bone conduction (BC))
4. การวัดการได้ยินโดยใช้คำพูด (Speech audiometry) เนื่องจากผู้ป่วยมักจะมีปัญหาในการเข้าใจคำพูดที่ได้ยิน ดังนั้นหลังจากการตรวจด้วยเสียงบริสุทธิ์แล้วควรมีการตรวจการได้ยินโดยใช้คำพูดด้วย เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจการได้ยินโดยใช้คำพูดเรียกว่า Speech audiometer เสียงพูดที่ผ่านเข้าไปในเครื่องผ่านทางไมโครโฟนหรือ เทปบันทึกเสียงหรือสื่ออื่นๆ โดยที่ระดับความดังเริ่มต้นตั้งแต่ -10 เดซิเบลถึง 110 เดซิเบล เสียงพูดของผู้ตรวจซึ่งผ่านเข้าไปในไมโครโฟนเรียกว่า การตรวจเสียงพูด (Monitored live voice , MLV) และเสียงของผู้พูดจะต้องมีการปรับให้อยู่ในระดับความดังที่ต้องการโดยการผ่านมิเตอร์หน่วยปรับความดัง (Volume unit (UV) meter) ผู้ถูกตรวจจะต้องตอบสนองการตรวจโดยการพูดตามที่ได้ยิน หรือเขียนคำพูดที่ได้ยินลงในกระดาษหรือชี้ไปยังภาพหรือวัตถุที่อยู่ภายในห้องตรวจตามคำพูดของผู้พูด โดยขณะที่ทำการตรวจผู้ถูกตรวจจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ไม่สามารถมองเห็นหรืออ่านริมฝีปากของผู้พูดได้
5. การวัดเสียงโดยวิธีระมัดระวังเป็นพิเศษ (Making audiometry) การวัดเสียงโดยวิธีนี้ต้องระมัดระวังไม่ให้เสียงที่ตรวจในหูข้างหนึ่งข้ามกะโหลกศีรษะมายังหูอีกข้างหนึ่ง โดยใช้เสียงรบกวนปล่อยเข้าไปรบกวนหูด้านที่ดัชนีที่กำลังตรวจวัดหูอีกข้าง
6. การทดสอบพิเศษ (Special audiometer) เป็นการทดสอบนอกเหนือไปจากการทดสอบประจำคลินิกเพื่อหาโรคหรือความผิดปกติของหู

เทคนิควิธีการตรวจการได้ยิน

เทคนิควิธีการตรวจการได้ยินแบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ

1. เทคนิคการลดความดัง (Descending technique) โดยการปล่อยระดับเสียงที่ดัง เพื่อให้ผู้ถูกทดสอบได้ยินเสียงก่อนแล้วค่อยๆ ลดความดังลงทีละน้อย ทีละ 10 เดซิเบล (เดซิเบล) จนถึงจุดหนึ่งที่ผู้ถูกทดสอบไม่ได้ยินเสียง ให้เพิ่มระดับเสียงจากจุดที่ไม่ได้ยินทีละ 5 เดซิเบล หากไม่ได้ยินก็เพิ่มอีก 5 เดซิเบล จนเริ่มได้ยินแล้วลดลงไปอีก 10 เดซิเบล เมื่อแน่ใจว่าผู้ถูกทดสอบได้ยินแน่ชัดที่จุดนั้นๆ ให้ลดลง 10 เดซิเบลอีกครั้ง ถ้าไม่ได้ยินให้เพิ่มขึ้น 5 เดซิเบล ทำกลับไปกลับมาจนได้จุดที่ผู้ถูก

ทดสอบได้ยินโดยใช้ระดับเสียงเบาที่สุดที่ผู้ถูกตรวจสอบสามารถตอบสนองได้ร้อยละ 50 ถึง 70 ของจำนวนครั้งที่ให้สัญญาณ จุดนั้นคือ เทรชโธลการได้ยิน (Hearing threshold)

2. เทคนิคการเพิ่มความดัง (Ascending technique) ใช้ในกรณีที่ผู้ถูกทดสอบอายุน้อยหรือหูหนวกมาก ๆ รวมทั้งผู้ที่ไม่แน่ใจว่าจะเสแสร้งทำเป็นหูหนวกหรือไม่ วิธีนี้เริ่มจากความตั้งใจที่ผู้ถูกทดสอบไม่ได้ยินก่อนแล้วเพิ่มความดังทีละ 10 เดซิเบล จนถึงจุดที่ผู้ถูกทดสอบเริ่มได้ยินเสียงเบาที่สุด แล้วลดเสียงลง 5 เดซิเบล ทำกลับไปมาจนได้จุดที่ผู้ถูกทดสอบได้ยินเสียงบ้างไม่ได้ยินเสียงบ้าง จุดนั้นคือ เทรชโธลการได้ยิน

3. เทคนิคแบบผสม (Combination technique) ใช้วิธีผสมระหว่างวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 โดยใช้ระดับเสียงดัง-เบาสลับกันไป (Medipro, 2554)

การเตรียมผู้ถูกทดสอบ

การเตรียมผู้ถูกทดสอบ ก่อนตรวจผู้ถูกทดสอบควนงระดับฟังเสียงดังเกิน 80 เดซิเบล เป็นเวลา 8-16 ชั่วโมง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดหูตึงแบบชั่วคราว (TTS) หากไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ ต้องสวมใส่ที่ครอบหูลดเสียงตลอดเวลาที่สัมผัสเสียงก่อนการทดสอบ การตรวจเป็นการตรวจแบบการได้ยินเสียงโดยการนำเสียงผ่านทางอากาศ (AC) (Medipro, 2554)

1. ให้ผู้ถูกทดสอบนั่งในห้องที่มีระดับเสียงในห้องตามมาตรฐานกำหนดไม่เกิน 40 เดซิเบล ในทุกความถี่
2. อธิบายให้ผู้ถูกทดสอบเข้าใจถึงเสียงสัญญาณที่จะได้ยิน และการกดสวิทช์สัญญาณตอบรับ
3. ให้ผู้ถูกทดสอบนั่งหันหลังให้ผู้ทำการทดสอบและใช้หูฟัง (head phone) สีแดงครอบที่หูขวา สีน้ำเงินครอบที่หูซ้าย



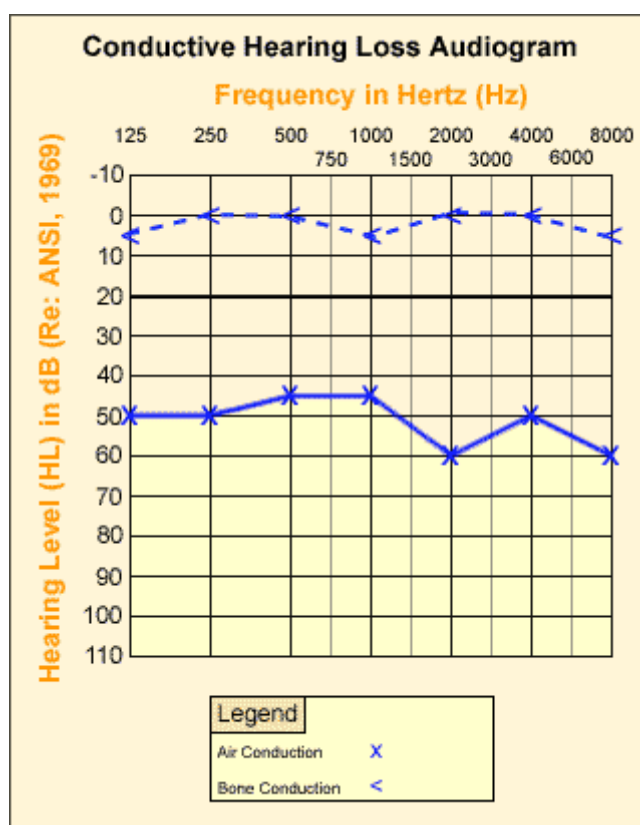
ภาพที่ 2.11 เครื่องวัดเสียง

4. การสอบถามผู้ถูกทดสอบ และทำการทดสอบในหูข้างที่ดีก่อน เริ่มทดสอบเทรซโกลการได้ยินที่ความถี่ 1,000 เฮิรซ์ แล้วหาต่อไปที่ 2,000 3,000 4,000 6,000 และ 8,000 เฮิรซ์ แล้วกลับมาทดสอบซ้ำที่ 1,000 เฮิรซ์. ใหม่ แล้วหาต่อไปที่ 500, 250 เฮิรซ์ตามลำดับ
5. ทำการตรวจการได้ยินของหูอีกข้างตามวิธีข้างต้น

การบันทึกผลการตรวจ

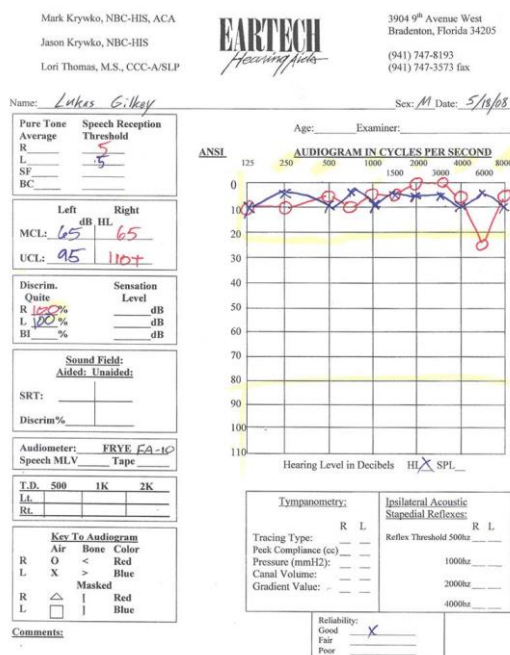
ให้ใช้เครื่องหมายสำหรับการบันทึกผลการตรวจการได้ยินตามหลักสากลนิยมดังนี้

1. การตรวจการได้ยินโดยการนำเสียงทางอากาศ ใช้เครื่องหมาย O สีแดง สำหรับหูข้างขวา X สีน้ำเงิน สำหรับหูข้างซ้าย การลากเส้นใช้เส้นทึบ
2. การตรวจการได้ยินโดยการนำเสียงผ่านทางกระดูกใช้เครื่องหมายน้อยกว่า (<) สีแดง สำหรับหูข้างขวา และใช้เครื่องหมายน้อยกว่า (>) สีน้ำเงินสำหรับหูข้างซ้าย การลากเส้นใช้เส้นประ



ภาพที่ 2.12 การบันทึกผลการตรวจแบบ AC และ BC ของหูข้างขวา

(United State Department of Labor, 2554)



ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างใบบันทึกผลการตรวจการได้ยิน

(Eartech Hearing Aids, 2554)

3. ผลการตรวจ อาศัยการแปลผลจากกราฟ โดยผลการตรวจจะมี 2 ส่วนคือ ระดับการได้ยิน และมีความผิดปกติในช่วงคลื่นเสียงความถี่สูงหรือต่ำร่วมด้วยหรือไม่ โดยผลการตรวจจะแบ่งเป็นระดับดังนี้

3.1 ผู้ที่หูตึง ในกรณีที่เป็นเล็กน้อยถึงปานกลาง อาจทำให้เสียบุคลิกบ้าง ควรใส่เครื่องป้องกันทุกครั้งที่เข้าสู่ที่บริเวณที่มีเสียงดัง หลีกเลี่ยงการใช้ยาที่มีพิษต่อระบบประสาทหู สำหรับผู้ที่หูตึงในระดับมากหรือรุนแรง ควรปรึกษาแพทย์ทางหู-คอ-จมูก เพื่อพิจารณาว่ามีความจำเป็นต้องใช้เครื่องช่วยการได้ยินหรือไม่

3.2 ผู้ที่มีระดับการได้ยินปกติแต่มีความผิดปกติของการได้ยินที่ความถี่สูง (หรือความถี่ต่ำ) ร่วมด้วย หมายความว่า การได้ยินของท่านเป็นปกติดี สามารถพูดคุย สื่อสารในชีวิตประจำวันได้อย่างปกติ แต่ระดับการได้ยินนั้นเริ่มมีการสูญเสียที่ความถี่สูง (หรือต่ำ) ซึ่งไม่ใช่เสียงที่คนเราพูดคุยกัน มักเป็นเสียงเครื่องจักร, โลหะ, เสียงนาฬิกา เป็นต้น ส่วนใหญ่มักเกิดจากการได้รับเสียงดังๆเป็นเวลานาน

3.3 การแบ่งระดับความบกพร่องของการได้ยิน

จะพิจารณาจากค่า AC เท่านั้น โดยใช้ค่าเฉลี่ยของระดับการได้ยินที่สำคัญสำหรับการรับฟังเสียงพูด คือ 500 1,000 และ 2,000 เฮิรตซ์มาคิดคำนวณ หากค่าเฉลี่ยของการได้ยินในหูทั้ง 2 ข้าง มีค่าแตกต่างกันมากกว่า 25 เดซิเบลให้บวกอีก 5 เดซิเบลเข้ากับการได้ยินในหูข้างที่ตีกว่านั้น

แล้วพิจารณาค่าที่บวกได้ใหม่กับเกณฑ์ประเมินเช่น ค่าเฉลี่ยในหูขวาเท่ากับ 35 เดซิเบล หูซ้ายเท่ากับ 65 เดซิเบล ต่างกันเกิน 25 เดซิเบล ต้องบวกเพิ่ม 5 เดซิเบล เข้ากับค่าเฉลี่ยการได้ยินของหูขวาเป็น 40 เดซิเบล ความพิการของหูเป็นระดับหูตึงปานกลาง (Medipro, 2554)

ตารางที่ 2-1 ระดับความบกพร่องของการได้ยิน

ระดับการได้ยิน	ค่าเฉลี่ยความไวของหู ณ ความถี่ 500-2000 เฮิรตซ์. ของหูข้างที่ดีกว่า (เดซิเบล)	ความสามารถในการเข้าใจคำพูด
หูปกติ	ไม่เกิน 25	ไม่ลำบากในการรับฟังคำพูด
หูตึงน้อย	25-40	ไม่ได้ยินเสียงพูดเบา
หูตึงปานกลาง	40-55	พูดด้วยความดังปกติแล้วไม่ได้ยิน
หูตึงมาก	55-70	พูดด้วยดังๆแล้วไม่ได้ยิน
หูตึงอย่างแรง	70-90	ต้องตะโกนหรือใช้เครื่องขยายเสียงจึงจะได้ยินและได้ยินไม่ชัดด้วย
หูหนวก	มากกว่า 90	ตะโกนหรือขยายเสียงพูดแล้วก็ยังไม่ได้ยินและไม่เข้าใจ

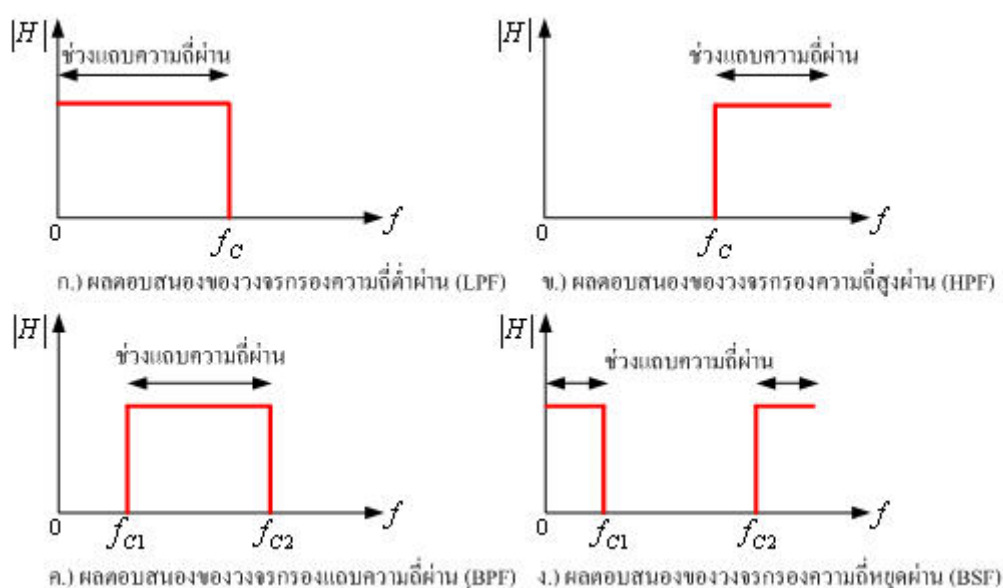
ตารางที่ 2-2 ระดับการได้ยินกับตัวอย่างเสียง

ระดับการได้ยิน	ระดับความดังที่เบาที่สุด ที่จะได้ยิน (dB)	ตัวอย่างเสียง
หูปกติ	25	เสียงกระชิบ
หูตึงน้อย	25-40	เสียงพูดในห้องเงียบ
หูตึงปานกลาง	41-55	เสียงพูดสนทนาเป็นกลุ่ม
หูตึงมาก	56-70	เสียงเครื่องดูดฝุ่น
หูตึงอย่างแรง	71-90	เสียงในห้องประชุม โรงภาพยนตร์, ลิบลิ้อวิ่งเต็มที
หูหนวก	91-120 หรือมากกว่า	เสียงเครื่องบินเจ็ทกำลังขึ้น, เสียงเรือหางยาว, รถจักร

การออกแบบตัวกรองแบบแอนะล็อก

หลักการสำคัญที่ใช้ในการออกแบบเครื่องช่วยฟังก็คือ การออกแบบตัวกรองให้สามารถชดเชยผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ต้องการได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยใช้อุปกรณ์น้อยที่สุดเพื่อให้ประหยัดพลังงานและมีขนาดเล็ก ดังนั้นการออกแบบเครื่องช่วยฟังโดยใช้ตัวกรองเชิงเลข (Digital filter) จึงได้รับความนิยมมากกว่าเครื่องช่วยฟังที่ใช้ตัวกรองแบบแอนะล็อก (Analog filter)

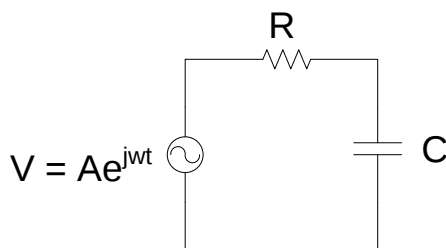
วงจรกรองสัญญาณสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ วงจรกรองแบบแถบความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass filter) วงจรกรองแบบแถบความถี่สูงผ่าน (High-pass filter) วงจรกรองแบบแถบความถี่ผ่าน (Band-pass filter) และวงจรกรองแบบแถบความถี่หยุด (Band-stop filter) ซึ่งมีผลตอบสนองเชิงความถี่ในอุดมคติ (Frequency response idea) ดังภาพที่ 2.13 (ธนันต์ ศรีสกุลและคณะ, 2554)



ภาพที่ 2.14 ผลตอบสนองวงจรกรองความถี่ในอุดมคติแบบต่าง ๆ (ธนันต์ ศรีสกุลและคณะ, 2554)

เพื่อให้เข้าใจพื้นฐานการออกแบบตัวกรองแอนะล็อกได้โดยง่าย จึงขอยกตัวอย่างการออกแบบตัวกรองแอนะล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง (First order low-pass filter) เป็นกรณีศึกษา ดังนี้

ถ้ากำหนดให้ตัวกรองแอนะล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่งดังแสดงดังภาพที่ 2.14 มีสัญญาณอินพุตของตัวกรองแอนะล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่านเป็นสัญญาณไซน์ (Sinusoidal signal) ที่อยู่ในรูปของสมการเอ็กโพเนนเชียลเชิงซ้อน (Complex exponential) ดังสมการที่ 2.1



ภาพที่ 2.15 วงจรกรองสัญญาณแอนะล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่าน

$$V = Ae^{j\omega t} = Ae^{st} \quad (2.1)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) เมื่อวงจรประกอบด้วยตัวต้านทาน (Resistor) เพียงอย่างเดียวจะเป็นไปตามกฎของโอห์ม ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$R = \frac{V}{I} = Z \quad (2.2)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) เมื่อวงจรประกอบด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพียงอย่างเดียวจะแสดงได้ดังสมการที่ 2.3

$$I = C \frac{dv}{dt} = CAj\omega e^{j\omega t} = j\omega CV = sCV$$

$$\frac{1}{sC} = \frac{V}{I} = Z \quad (2.3)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) เมื่อวงจรประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจูดังภาพที่ 2.14 จึงแสดงได้ดังสมการที่ 2.4

$$\frac{V}{I} = R + \frac{1}{sC} = Z \quad (2.4)$$

ดังนั้นอัตราขยาย (Gain) ของวงจรกรองความถี่ดังกล่าว จึงแสดงได้ดังสมการที่ 2.5

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{1}{sC}}{R + \frac{1}{sC}} = \frac{1}{1 + sCR} = \frac{1}{1 + j\omega CR} \quad (2.5)$$

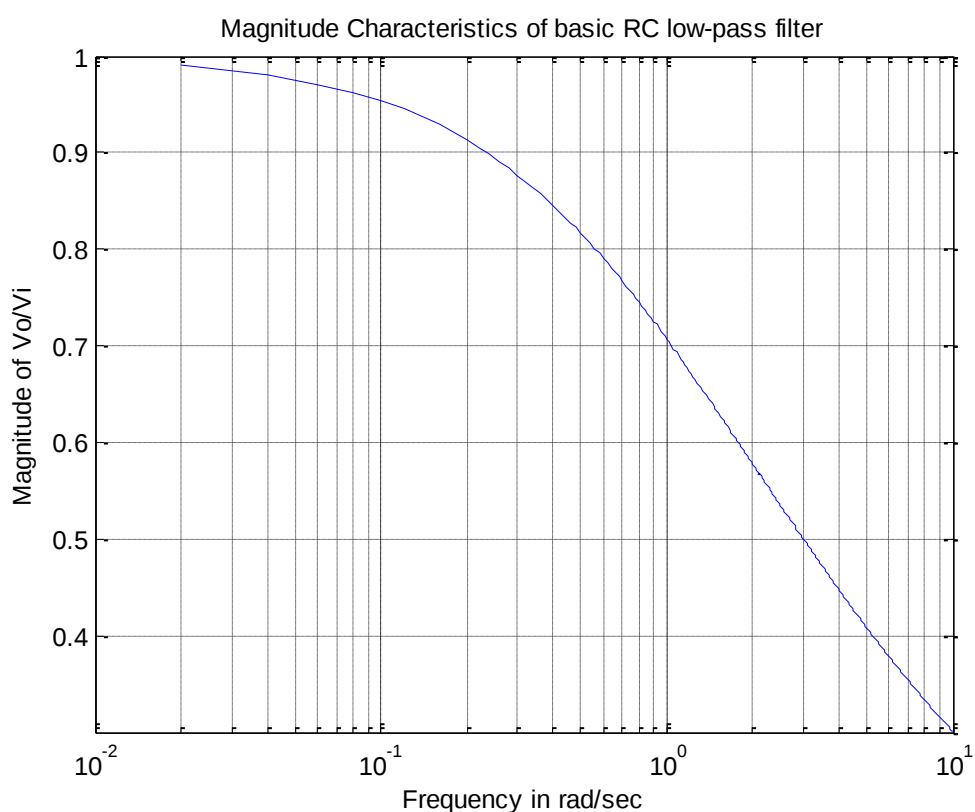
ถ้ากำหนดให้ $\omega_c RC = 1, \omega_c = \frac{1}{RC}, \omega_c = 2\pi f_c$ ค่าความถี่ตัด (Cut-off frequency) แสดงได้ดังสมการที่ 2.6

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.6)$$

ส่วนมุมเฟส (Phase angle) แสดงดังสมการที่ 2.7

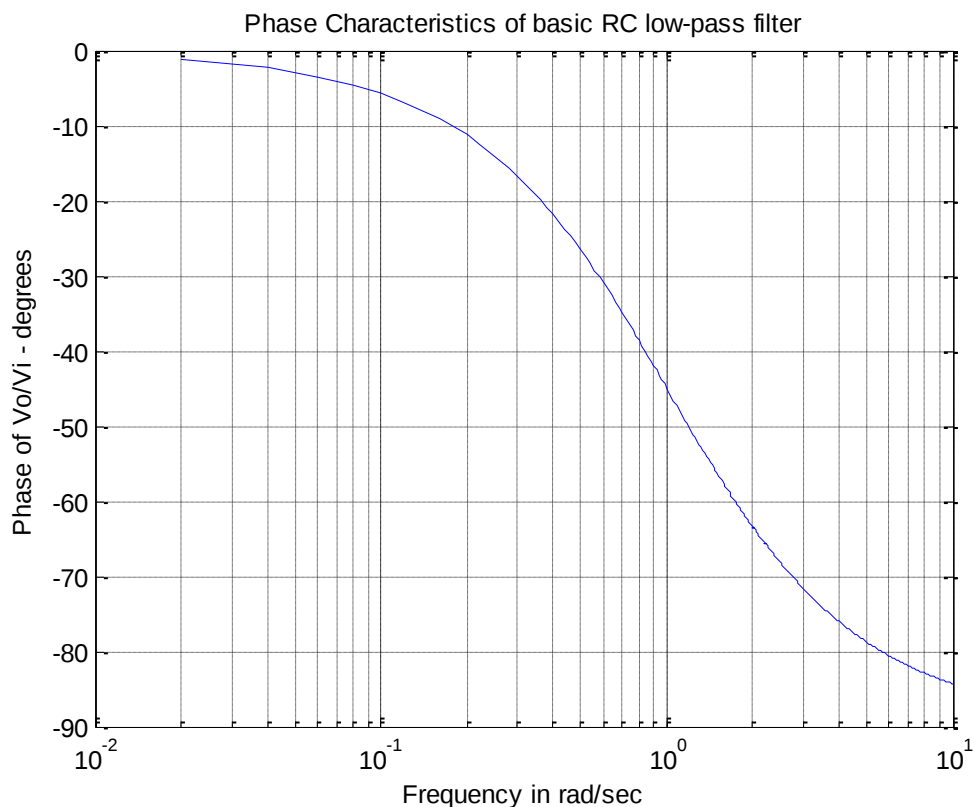
$$\theta = \arg \{G(j\omega)\} = \arg\left(\frac{V_o}{V_i}\right) = -\tan^{-1}(\omega RC) \quad (2.7)$$

ถ้ากำหนดให้ $RC = 1$ และ $\omega = 10$ จะได้ผลตอบสนองทางขนาด (Magnitude response) ดังภาพที่ 2.15 และผลตอบสนองทางเฟส (Phase response) ดังภาพที่ 2.16 (Steven T. Karris, 2007, p.11-2 - p.11-4)



ภาพที่ 2.16 ผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง

เมื่อพิจารณาภาพที่ 2.15 จะพบว่าผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองที่ออกแบบโดยใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุแตกต่างจากผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแถบความถี่ต่ำผ่านในอุดมคติเป็นอย่างมาก โดยมีอัตราการลดทอนเพียง -20 เดซิเบลต่อเดเคด (dB/decade) ถ้าต้องการให้อัตราการลดทอนสูงขึ้น จะทำได้โดยการใช้อุปกรณ์แอกทีฟประเภทออปแอมป์ (Op-Amp) และเพิ่มอันดับของตัวกรองให้มากขึ้นเป็นอันดับสอง (Second order) อันดับสาม (Third order) เป็นต้น



ภาพที่ 2.17 ผลตอบสนองทางเฟสของตัวกรองแอนะล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง

จากหลักการออกแบบตัวกรองแอนะล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่งดังกล่าวแล้ว สามารถนำหลักการนี้ไปออกแบบตัวกรองแบบอื่นๆ ได้ ผู้สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากเอกสาร ตำราต่าง ๆ ทั้งภาษาไทยและภาษาต่างประเทศ ซึ่งมีอยู่อย่างมากมาย

ต้นแบบตัวกรองแอนะล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่าน

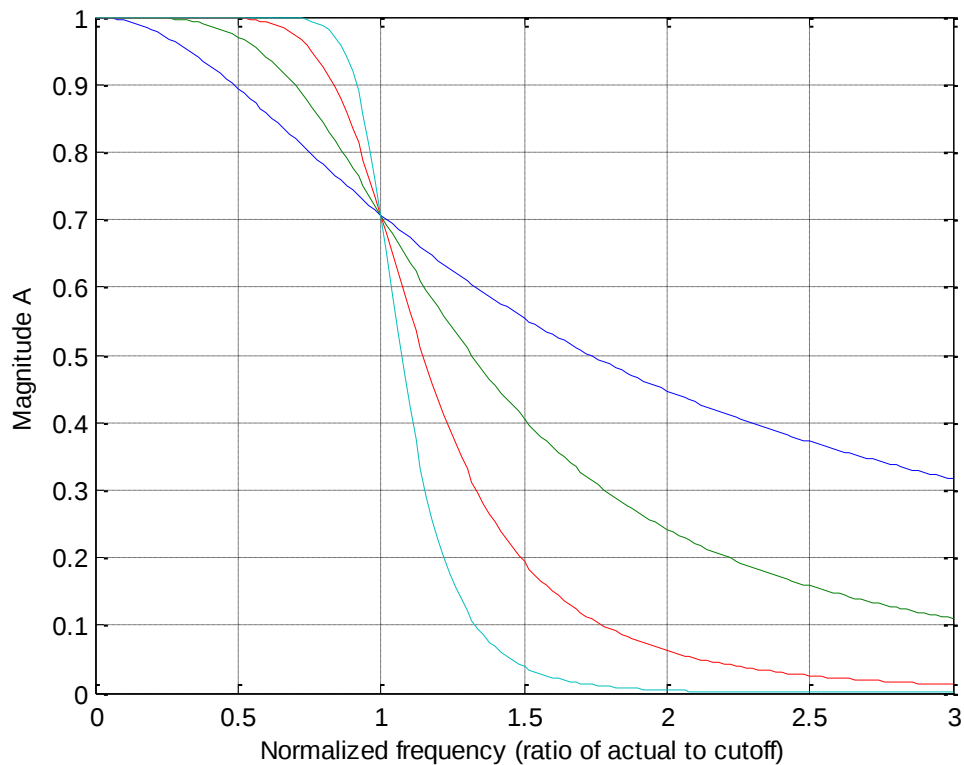
ถึงแม้ว่าตัวกรองเชิงเลขจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าตัวกรองแบบแอนะล็อกหลายประการ เช่น มีขนาดเล็กกว่า ประหยัดพลังงานมากกว่า จึงเป็นที่นิยมใช้งานมากกว่า แต่เนื่องจากตัวกรองแอนะล็อกมีการใช้งานมานานกว่า จึงมีความน่าเชื่อถือมากกว่า ดังนั้นจึงมีผู้ออกแบบตัวกรองเชิงเลขโดยใช้การแปลง (Transform) จากต้นแบบตัวกรองแอนะล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass analog filter prototype) ซึ่งตัวกรองต้นแบบมี 4 ชนิด คือ

1. แบบบัตเตอร์เวิร์ธ

ตัวกรองแอนะล็อกแบบแถบความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ (Butterworth analog low-pass filter) มีฟังก์ชันขนาดยกกำลังสอง ดังสมการที่ 2.8 (Steven T. Karris, 2007, p.11-14)

$$A^2(\omega) = \frac{1}{(\omega/\omega_c)^{2k} + 1} \quad 2.8$$

เมื่อกำหนดให้ k มีค่าเป็น 1, 2, 4 และ 8 ผลตอบสนองทางขนาดของ A แสดงได้ดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.18 ผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ

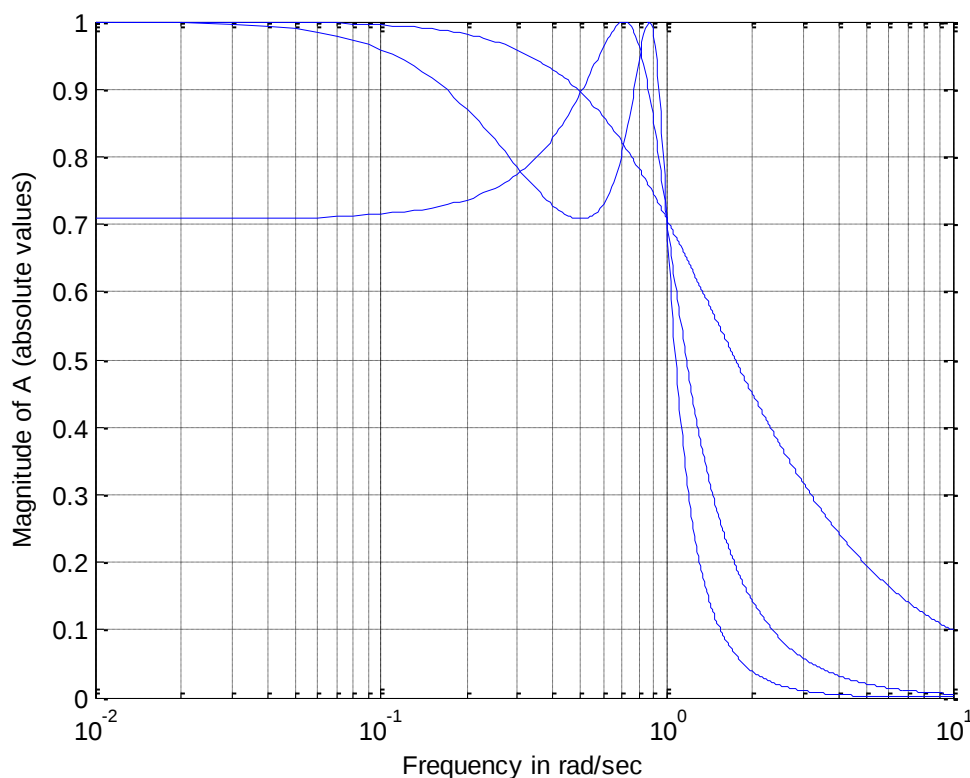
จากภาพที่ 2.17 จะเห็นว่าผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธมีริบเบิล (Ripple) น้อยทั้งในช่วงแถบความถี่ผ่าน (Band-pass) และในช่วงแถบความถี่หยุด (Band-stop) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของตัวกรองชนิดนี้ คือ ผลตอบสนองทางขนาดจะมีความเรียบมากกว่าตัวกรองชนิดอื่น ๆ

2. แบบเชบิเชฟชนิดที่หนึ่ง

ตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบเชบิเชฟชนิดที่หนึ่ง (Chebyshev type I analog low-pass filter) มีฟังก์ชันขนาดยกกำลังสอง ดังสมการที่ 2.9 (Steven T. Karris, 2007, p.11-26)

$$A^2(\omega) = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 C_k^2(\omega/\omega_c)} \quad 2.9$$

เมื่อกำหนดให้ k มีค่าเป็น 1, 2 และ 3 ผลตอบสนองทางขนาดของ A แสดงได้ดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.19 ผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่าน
แบบเชบิเชฟชนิดที่หนึ่ง

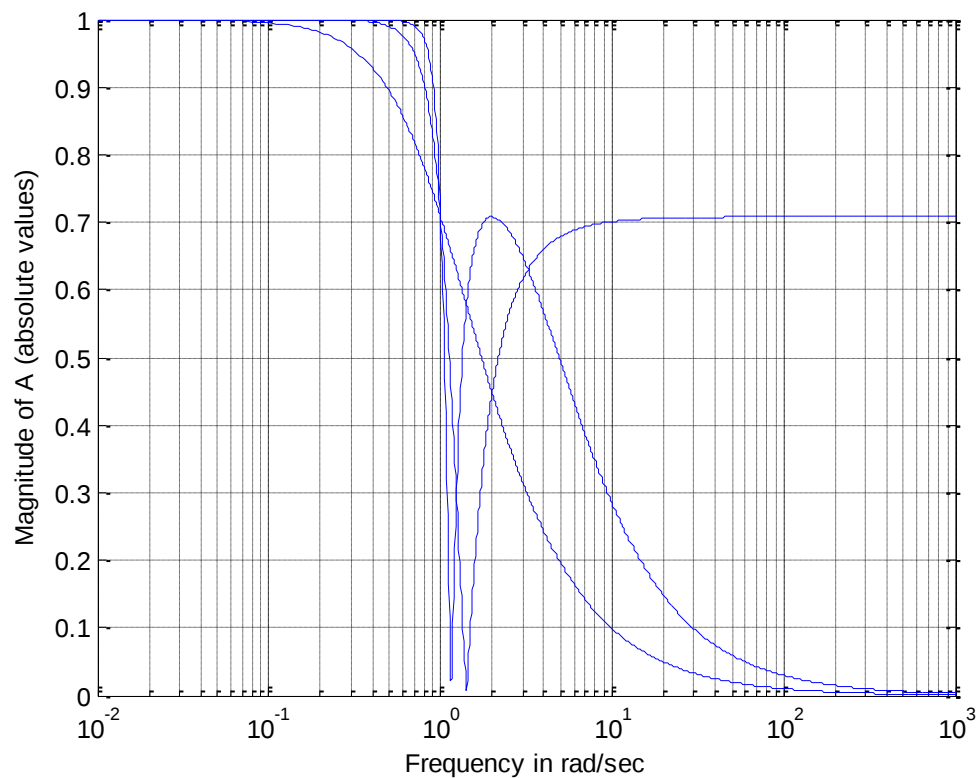
จากภาพที่ 2.19 จะเห็นว่าผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบเชบิเชฟชนิดที่หนึ่งจะมีอัตราการลดทอนทางขนาดดีกว่าตัวกรองชนิดอื่น ๆ แต่จะมีริบเปิลในช่วงแถบความถี่ผ่านและในช่วงแถบความถี่หยุดสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวกรองชนิดนี้ คือ มีอัตราการลดทอนของผลตอบสนองทางขนาดสูงกว่าตัวกรองชนิดอื่น ๆ แต่จะมีริบเปิลมากกว่าตัวกรองชนิดอื่น ๆ

3. แบบเชบิเชฟชนิดที่สอง

ตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบเชบิเชฟชนิดที่สอง (Chebyshev type II analog low-pass filter) มีฟังก์ชันขนาดยกกำลังสอง ดังสมการที่ 2.10 (Steven T. Karris, 2007, p.11-38)

$$A^2(\omega) = \frac{\varepsilon^2 C_k^2(\omega_c / \omega)}{1 + \varepsilon^2 C_k^2(\omega_c / \omega)} \quad 2.10$$

เมื่อกำหนดให้ k มีค่าเป็น 1, 2 และ 3 ผลตอบสนองทางขนาดของ A แสดงได้ดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.20 ผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่าน
แบบเชบีเชฟชนิดที่สอง

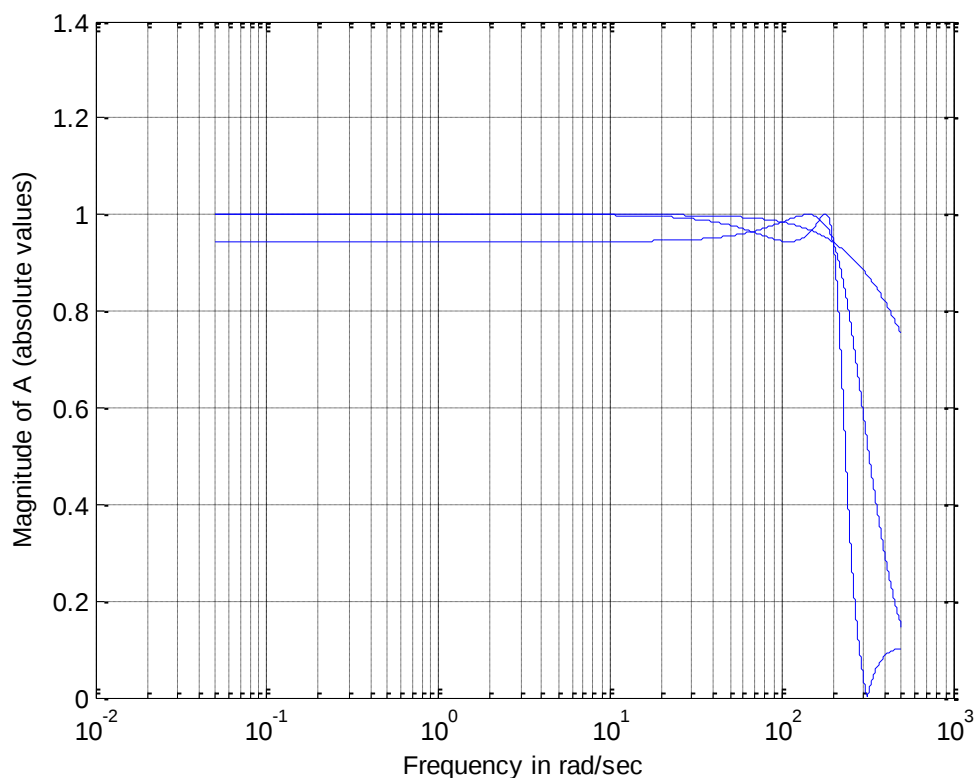
จากภาพที่ 2.20 จะเห็นว่าผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบเชบีเชฟชนิดที่สองจะมีอัตราการลดทอนทางขนาดสูงเช่นเดียวกับตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบเชบีเชฟชนิดที่หนึ่ง แต่จะแตกต่างกันที่ตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบเชบีเชฟชนิดที่สองมีริบเบิลในช่วงแถบความถี่ผ่านน้อยกว่าและมีริบเบิลในช่วงแถบความถี่หยุดมากกว่า

4. แบบอิลิปติก

ตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบอิลิปติก (Elliptic analog low-pass filter) มีฟังก์ชันขนาดยกกำลังสอง ดังสมการที่ 2.11 (Steven T. Karris, 2007, p.11-39)

$$A^2(\omega) = \frac{1}{1 + R_k^2(\omega / \omega_c)} \quad 2.11$$

เมื่อกำหนดให้ k มีค่าเป็น 1, 2 และ 3 ผลตอบสนองทางขนาดของ A แสดงได้ดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.21 ผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบอิลิปติก

จากภาพที่ 2.21 จะเห็นว่าผลตอบสนองทางขนาดของตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบอิลิปติกจะมีอัตราการลดทอนทางขนาดสูงเช่นเดียวกับตัวกรองแอนาล็อกแถบความถี่ต่ำผ่านแบบเชบีเชฟชนิดที่หนึ่งและสอง แต่จะมีริบเปิ้ลในช่วงแถบความถี่ผ่านและช่วงแถบความถี่หยุดน้อยกว่า

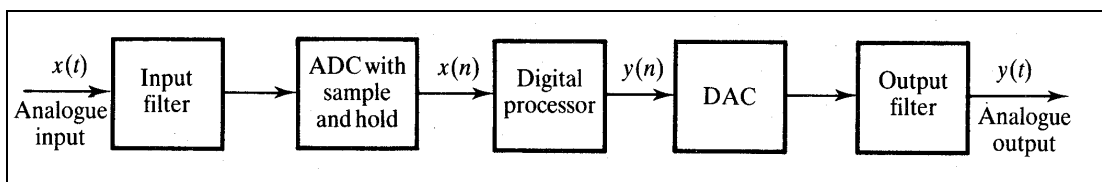
วิธีการแปลงที่มีการพัฒนาจากตัวกรองความถี่ต่ำผ่านสามารถแปลง (Convert) เป็นตัวกรองแบบอื่นๆ โดยใช้การแปลงตัวแปรเชิงซ้อน (Complex variable s) ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (Steven T. Karris, 2007, p.11-42)

ตารางที่ 2.3 การแปลงตัวกรอง

ชนิดของตัวกรอง	แทนที่ s ใน G(s) ด้วย
ตัวกรองแบบแถบความถี่ต่ำผ่านที่มีแถบความถี่ผ่าน 3 เดซิเบล และมีการนอร์มัลไลซ์ความถี่ ω_c	ไม่มีการแทนที่
ตัวกรองแบบแถบความถี่ต่ำผ่านที่มีแถบความถี่ผ่าน 3 เดซิเบล และไม่มี การนอร์มัลไลซ์ความถี่ ω_{LP}	$\frac{s\omega_c}{\omega_{LP}}$
ตัวกรองแบบแถบความถี่สูงผ่าน ที่มีแถบความถี่ผ่าน 3 เดซิเบล จาก $\omega = \omega_2$ ถึง $\omega = \infty$	$\frac{\omega_{LP} \cdot \omega_2}{s}$
ตัวกรองแบบแถบความถี่ผ่าน ที่มีแถบความถี่ผ่าน 3 เดซิเบลจาก $\omega = \omega_{LP}$ ถึง $\omega = \omega_2$	$\omega_c \frac{s^2 + \omega_{LP} + \omega_2}{s(\omega_2 - \omega_{LP})}$
ตัวกรองแบบแถบความถี่หยุด ที่มีแถบความถี่ผ่าน 3 เดซิเบลจาก $\omega = 0$ ถึง $\omega = \omega_{LP}$	$\omega_c \frac{s(\omega_2 - \omega_{LP})}{s^2 + \omega_{LP} + \omega_2}$

การออกแบบตัวกรองเชิงเลข

ตัวกรองเชิงเลข (Digital Filter) เป็นตัวกรองรูปแบบหนึ่งที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นโดยใช้วงจรเชิงเลขมีแผนภาพการทำงานดังภาพที่ 2.22 ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณแอนะล็อก $x(t)$ เป็นสัญญาณอินพุตของตัวกรอง สัญญาณนี้จะถูกส่งผ่านวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณเชิงเลข $x(n)$ และสัญญาณเชิงเลขนี้จะถูกส่งเข้าไปคำนวณในหน่วยประมวลผลจนได้เป็นสัญญาณเชิงเลข $y(n)$ ส่งผ่านมายังวงจรแปลงสัญญาณเชิงเลขให้เป็นสัญญาณแอนะล็อก ได้สัญญาณเอาต์พุตของตัวกรองเป็นสัญญาณแอนะล็อก $y(t)$



ภาพที่ 2.22 แผนภาพการทำงานของตัวกรองเชิงเลขพื้นฐาน (Emmanuel C. Ifeachor and Barrie W. Jervis, 1993)

ตัวกรองเชิงเลขแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

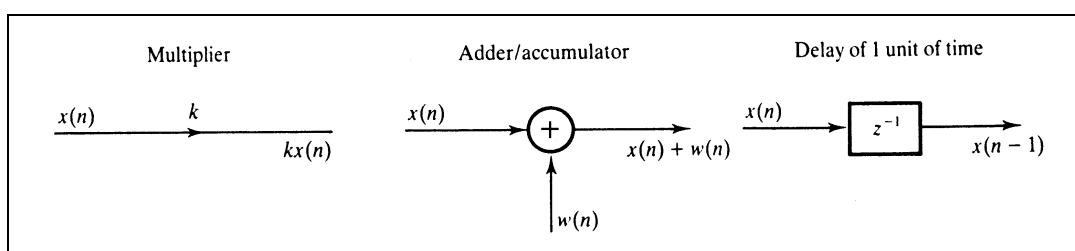
1. ตัวกรองเชิงเลขแบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดหรือตัวกรองแบบเอฟไออาร์ (Finite Impulse Response (FIR) Filter)
2. ตัวกรองเชิงเลขแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดหรือตัวกรองแบบไอไออาร์ (Infinite Impulse Response (IIR) Filter) (Emmanuel C. Ifeachor and Barrie W. Jervis, 1993)

องค์ประกอบของตัวกรองเชิงเลข

ตัวกรองเชิงเลขทั้งสองชนิดจะประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน (Basic elements) ดังต่อไปนี้ (Roman Kuc, 1982)

1. ตัวบวก (Adder)
2. ตัวคูณ (Multiplier)
3. ตัวหน่วง (Delay)

สัญลักษณ์ขององค์ประกอบพื้นฐานทั้ง 3 ตัวสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.23 องค์ประกอบพื้นฐานทั้ง 3 ตัวที่ใช้เป็นส่วนประกอบของตัวกรองเชิงเลข (Roman Kuc, 1982)

ตัวกรองเชิงเลขแบบเอฟไออาร์

ตัวกรองเชิงเลขแบบเอฟไออาร์มีสมการคุณสมบัติดังสมการที่ 2.12

$$y(n) = \sum_{k=0}^{n-1} h(k)x(n-k) \quad (2.12)$$

เขียนให้อยู่ในแซดโดเมน (Z-domain) ได้ดังสมการที่ 2.13

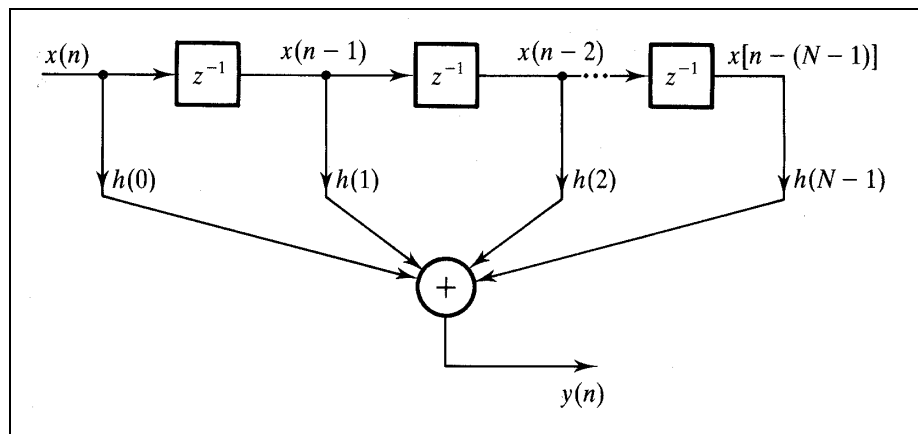
$$Y(z) = \sum_{k=0}^{n-1} h(k)X(z)Z^{-k} \quad (2.13)$$

หรือเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอนจะได้

$$H(z) = \sum_{k=0}^{n-1} h(k)Z^{-k} \quad (2.14)$$

$$Y(z) = h(0)x(z) + h(1)x(z)Z^{-1} + h(2)x(z)Z^{-2} + \dots + h(k)x(z)Z^{-k} \quad (2.15)$$

จากสมการที่ 2.15 สามารถนำไปเขียนเป็นโครงสร้างได้ดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.24 โครงสร้างของตัวกรองเอฟไออาร์

ตัวกรองแบบเอฟไออาร์จัดเป็นตัวกรองนอนรีเคอร์ซีฟ (Non recursive) (John G. Proakis and Dimitris G. Manolakis, 1996) เนื่องจากไม่มีการป้อนกลับจากทางด้านเข้าที่พุท ตัวกรองแบบเอฟไออาร์มีคุณสมบัติ ดังนี้

1. สามารถสร้างได้ง่ายเมื่อเทียบกับตัวกรองแบบไอไออาร์
2. มีคุณสมบัติการตอบสนองทางเฟสเป็นแบบเชิงเส้น (Linear phase)
3. สัมประสิทธิ์ที่เกิดจากการคำนวณจะมีค่าไม่เกินหนึ่งทำให้สามารถสร้างและทำงานได้ดี

บนตัวประมวลผลแบบจุดทศนิยมคงที่ (Fix-point)

4. ตัวกรองแบบเอฟไออาร์จะเสถียรภาพ (Stable) แน่นอน เนื่องจากว่ามีโพลอยู่ที่จุดกำเนิด

(Origin) บนระนาบแซด

เมื่อพิจารณาสมการ 2.16

$$y(n) = x(n - k) \quad (2.16)$$

เมื่อทำการแปลงฟูเรียร์สมการที่ 2.16 จะได้

$$Y(j\omega) = e^{-j\omega kT} X(j\omega) \quad (2.17)$$

$$\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = H(j\omega) = e^{-j\omega kT} \quad (2.18)$$

จากสมการจะเห็นว่าค่าขนาด (magnitude) เท่ากับ 1 และมีเฟสดังสมการที่ 2.19

$$\theta(\omega) = -\omega kT \quad (2.19)$$

และจากสมการที่ 2.19 ซึ่งเป็นสมการของเฟสสามารถนำไปหาค่าหน่วงกลุ่ม (Group delay) ได้โดยทำการหาอนุพันธ์สมการที่ 2.19 เทียบกับ ω จะได้สมการของค่าหน่วงกลุ่ม ดังสมการที่ 2.20 - 2.21

$$d\theta = \frac{d(-\omega kT)}{d\omega} \quad (2.20)$$

$$\Theta = -kT \quad (2.21)$$

จากสมการที่ 2.21 จะเห็นว่าตัวกรองแบบเอพไอราร์ มีผลตอบสนองทางเฟสเป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้นตัวกรองแบบเอพไอราร์จึงถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การรับส่งข้อมูล วิธีโอเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น และถ้ากำหนดสมการผลตอบสนองทางเฟสใหม่โดยกำหนดให้

$$kT = \alpha \quad (2.23)$$

จะได้

$$\theta(\omega) = -\alpha\omega \quad (2.24)$$

หรือถ้าค่าของผลตอบสนองทางเฟสเท่ากับ

$$\theta(\omega) = \beta - \alpha\omega \quad (2.25)$$

β เป็นค่าคงที่

ถ้าตัวกรองมีทั้งผลการตอบสนองทางเฟสและค่าหน่วงกลุ่มเป็นแบบเชิงเส้น ตามสมการที่ 2.24 จะให้ค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองเป็นแบบสมมาตรบวก (Positive symmetry) ดังสมการที่ 2.26 และ 2.27 ซึ่งผลการตอบสนองทางเฟสจะเป็นฟังก์ชันของความยาวตัวกรอง (Filter length)

$$h(n) = h(N - n - 1) \quad \text{ที่ } n=0,1,\dots,(N-1)/2 \text{ และ } n \text{ เป็นคู่} \quad (2.26)$$

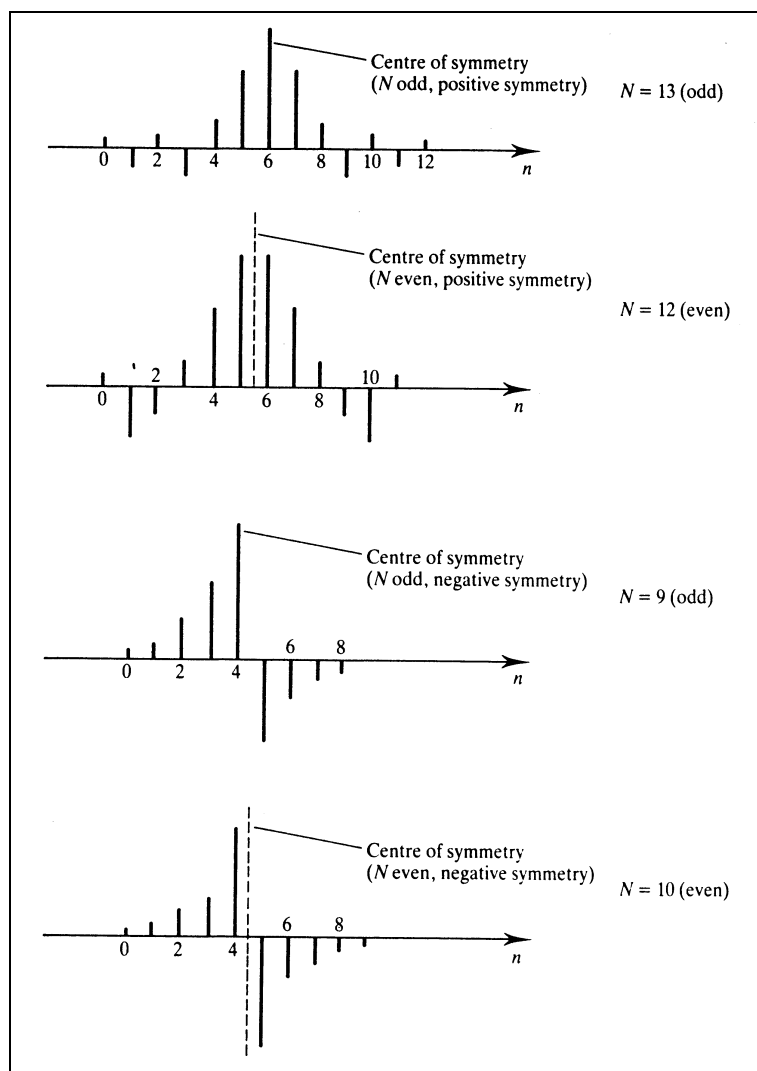
$$\alpha = \frac{(N-1)}{2} \quad \text{ที่ } n=0,1,\dots,(N/2)-1 \text{ และ } n \text{ เป็นคู่} \quad (2.27)$$

และถ้าฟิลเตอร์มีผลการตอบสนองทางเฟสดังสมการที่ 2.25 จะได้ผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองเป็นแบบสมมาตรลบ (Negative symmetry) ดังสมการที่ 2.28 และ 2.29

$$h(n) = -h(N - n - 1) \quad (2.28)$$

$$\alpha = \frac{(N-1)}{2} \quad (2.29)$$

โดย N ในสมการที่ 2.26 และสมการที่ 2.27 เป็นจำนวนลำดับของตัวกรองและ $0 \leq n \leq N - 1$ ดังนั้นถ้า $N=7$ จะได้ $h(0)=h(6)$, $h(1)=h(5)$, $h(2)=h(4)$ และถ้า $N=8$ จะได้ $h(0)=h(7)$, $h(1)=h(6)$, $h(2)=h(5)$, $h(3)=h(4)$ และสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 2.24

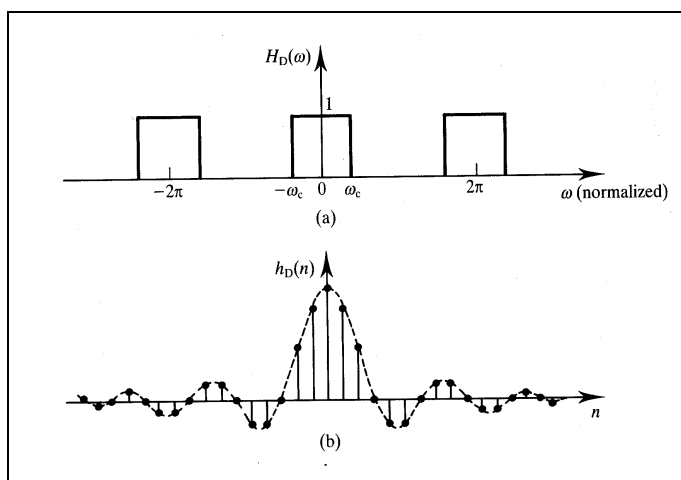


ภาพที่ 2.25 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของเฟสเชิงเส้นของตัวกรอง 4 ชนิด

(Emmanuel C. Ifeakor and Barrie W. Jervis, 1993, p. 284)

การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบเอฟไออาร์

การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบเอฟไออาร์จะใช้วิธีอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series) มาทำการออกแบบพิจารณาภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.26 ผลตอบสนองความถี่และผลตอบสนองอิมพัลส์ในทางอุดมคติ

(a) ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านในทางอุดมคติ

(b) ผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านในทางอุดมคติ

ตัวกรองที่มีผลตอบสนองทางความถี่ $H_D(\omega)$ สามารถหาค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ $h_D(n)$ ได้จากความสัมพันธ์ของการแปลงกลับของฟูเรียร์ดังสมการที่ 2.30

$$h_d(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H_D(\omega) e^{j\omega n} d\omega \quad (2.30)$$

พิจารณาจากภาพที่ 2.30 ซึ่งเป็นกราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านซึ่งมีความถี่คัท-ออฟ คือ ω_c โดย ω_c นี้จะเป็นความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized frequency ซึ่งมีค่าดังสมการที่ 2.31

$$f = \frac{f_c}{f_s} \quad (2.31)$$

โดย f คือ ความถี่คัท-ออฟนอร์มอลไลซ์ (Normalized Cut off frequency)

f_c คือ ความถี่คัท-ออฟ (Cut off frequency (Hz))

f_s คือ ความถี่สุ่ม (Sampling frequency (Hz))

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า $H_D(\omega)$ จะมีค่าเท่ากับ 1 ในช่วง ตั้งแต่ $-\omega_c$ จนถึง $+\omega_c$ ดังนั้นค่าของผลตอบสนองอิมพัลส์ของรูปที่ 2.25 (a) จะหาได้จากสมการที่ 2.32

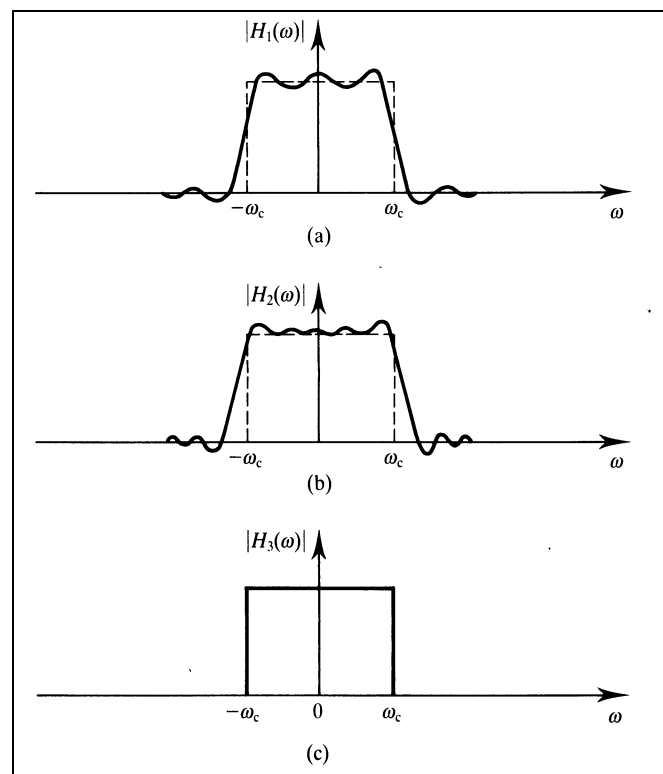
$$h_D(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} 1 \times e^{j\omega n} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_c}^{\omega_c} e^{j\omega n} d\omega \quad (2.32)$$

$$h_D(n) = \frac{2 \times \sin(2\pi fn)}{2\pi fn} \quad (2.33)$$

$$h_D(n) = \frac{\sin(2\pi fn)}{n\pi} \quad (2.34)$$

เนื่องจากค่าผลตอบสนองอิมพัลส์นั้นมีความสมมาตรกันดังนั้นในการหาค่าจะทำการหาเพียงครึ่งหนึ่งก็พอ ดังตัวอย่าง ถ้าต้องการหาผลตอบสนองอิมพัลส์ $n=53$ จะทำการหาค่า n ตั้งแต่ 0 จนถึง 26 ส่วนค่า -1 จนถึง -26 นั้นไม่จำเป็นต้องหาเนื่องจากความเป็นสมมาตรนั่นเอง

ตัวกรองแบบเอฟไออาร์จะมีผลตอบสนองทางความถี่เป็นแบบอุดมคติก็ต่อเมื่อมีการใช้ตัวสัมประสิทธิ์เป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติผลการตอบสนองทางความถี่ของตัวกรองแบบเอฟไออาร์ จะมีการกระเพื่อม (Ripple) เกิดขึ้น ถ้าจำนวนสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยก็จะทำให้เกิดกระเพื่อมมาก แต่ถ้าสัมประสิทธิ์มีจำนวนมากขึ้นก็จะทำให้ค่าการกระเพื่อมน้อยลง ซึ่งจะมีผลใกล้เคียงกับผลการตอบสนองความถี่ทางอุดมคติมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.27 ผลการตอบสนองความถี่

(a) สัมประสิทธิ์ 13 ตัว

(b) สัมประสิทธิ์ 25 ตัว

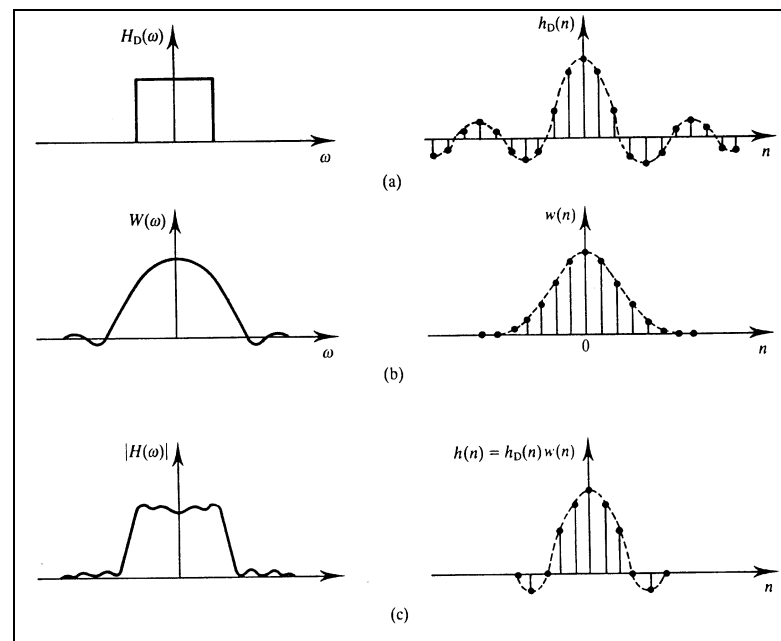
(c) สัมประสิทธิ์เป็นอนันต์

การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบเอฟโฟอาร์ด้วยฟังก์ชันวินโดว์

เพื่อให้ผลการตอบสนองความถี่มีค่าใกล้เคียงกับผลตอบสนองความถี่ในทางอุดมคติ จึงได้มีการค้นคว้าวิธีการแก้ปัญหาโดยการนำสัมประสิทธิ์ $h_D(n)$ มาคูณกับสัมประสิทธิ์อีกตัวหนึ่ง สัมประสิทธิ์ตัวนี้ก็คือ $w(n)$ ผลที่ได้จากการคูณจะเป็นสัมประสิทธิ์ตัวใหม่หรือ $h(n)$ ซึ่งการหาสัมประสิทธิ์ $h(n)$ นี้เรียกว่า การหาโดยใช้ฟังก์ชันของวินโดว์ (Window) สมการของ $h(n)$ แสดงได้ดังสมการที่ 2.35

$$h(n) = h_D(n) \cdot w(n) \quad (2.35)$$

ค่าของ $w(n)$ สามารถหาได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบ ซึ่งแต่ละวิธีจะให้ผลการตอบสนองความถี่ที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 2.27



ภาพที่ 2.28 ผลการตอบสนองความถี่ด้วยฟังก์ชันวินโดว์

นอกจากนี้สมการที่ใช้หาค่า $w(n)$ ของแต่ละวิธียังแตกต่างกันดังต่อไปนี้

เรกแทนกูลาร์วินโดว์ (Rectangular window)

$$w(n) = 1 \quad (2.36)$$

ฮานนิงวินโดว์ (Hanning window)

$$w(n) = 0.5 + 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \quad (2.37)$$

แฮมมิงวินโดว์ (Hamming window)

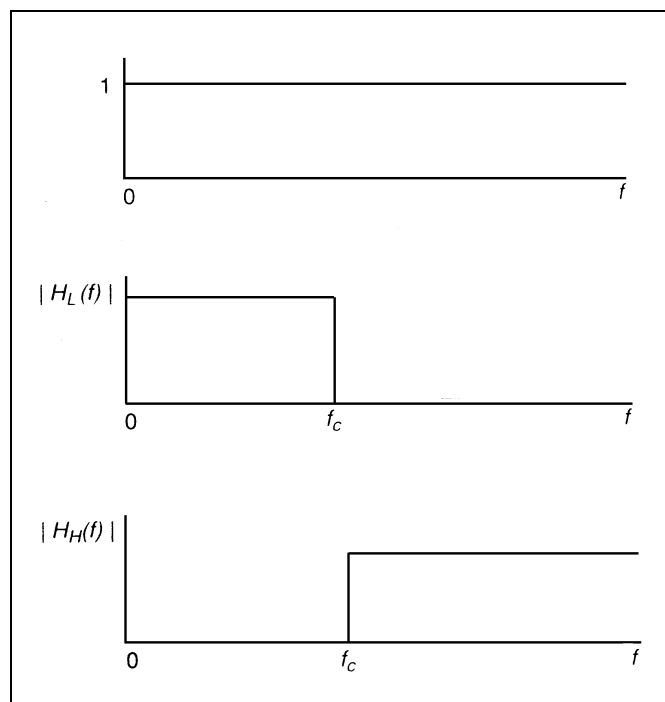
$$w(n) = 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \quad (2.38)$$

แบลคแมนวินโดว์ (Blackman window)

$$w(n) = 0.42 + 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right) \quad (2.39)$$

การออกแบบตัวกรองความถี่สูงผ่าน, ช่วงความถี่ผ่าน, ช่วงความถี่หยุดแบบเอฟไออาร์

ตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High pass Filter) ในการออกแบบตัวกรองความถี่สูงผ่านจะทำการนำผลการตอบสนองความถี่ของตัวกรองอลพาส (All pass filter) ลบด้วยผลการตอบสนองความถี่ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน ดังแสดงในภาพที่ 2.29

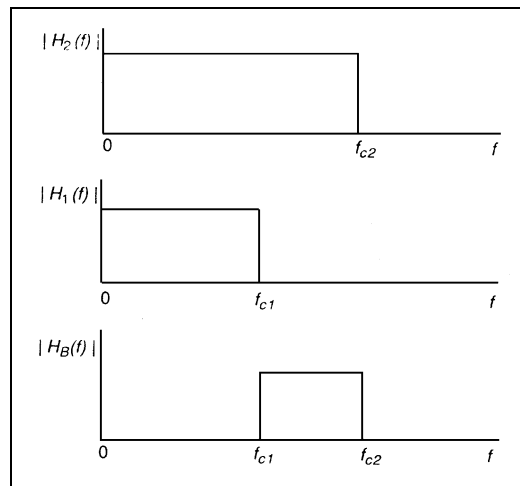


ภาพที่ 2.29 กราฟตอบสนองความถี่ของอลพาสฟิลเตอร์, โลพาสฟิลเตอร์, ไฮพาสฟิลเตอร์

และในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของไฮพาสฟิลเตอร์สามารถหาได้จากสมการ

$$h_D(n)_{high} = \delta(n) - h_D(n)_{Low} \quad (2.40)$$

ตัวกรองช่วงความถี่ผ่าน (Band pass filter) ในการออกแบบตัวกรองช่วงความถี่ผ่านแบบเอพ-ไออาร์ จะทำโดยนำเอาผลการตอบสนองความถี่ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน 2 ความถี่มาลบกันดังแสดงในภาพที่ 2.29



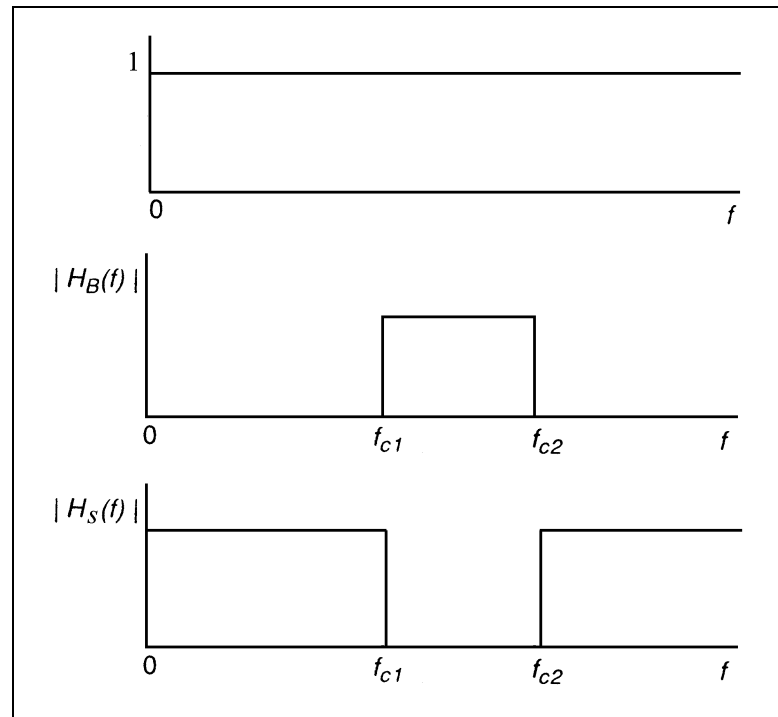
ภาพที่ 2.30 กราฟผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน 2 ความถี่และกราฟผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองช่วงความถี่ผ่าน

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองช่วงความถี่ผ่านสามารถหาได้จากสมการ

$$h_D(n)_{Band} = h_D(n)_{fc2} - h_D(n)_{fc1} \quad (2.41)$$

$$h_D(n)_{Band} = \frac{\sin(2\pi f_{c2}n)}{n\pi} - \frac{\sin(2\pi f_{c1}n)}{n\pi} \quad (2.42)$$

ตัวกรองช่วงความถี่หยุด (Band Stop Filter) สามารถกระทำได้โดยนำผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองอลพาสลบด้วยผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองช่วงความถี่ผ่านดังภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.31 ผลตอบสนองของตัวกรองอลพาส, ช่วงความถี่ผ่าน, และช่วงความถี่หยุด

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองช่วงความถี่หยุดสามารถหาได้จากสมการ

$$h_D(n) = \delta(n) - [h_D(n)_{f_{c2}} - h_D(n)_{f_{c1}}] \quad (2.43)$$

$$h_D(n) = \delta(n) - \left[\frac{\sin(n \times 2\pi f_2)}{n\pi} - \frac{\sin(n \times 2\pi f_1)}{n\pi} \right] \quad (2.44)$$

ตัวกรองเชิงเลขแบบไอโออาร์

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ของตัวกรองเชิงเลขแบบไอโออาร์ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^N b_k Z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^M a_k Z^{-k}} \quad (2.45)$$

จากสมการที่ 2.45 สามารถนำไปเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ 2.46

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 Z^{-1} + \dots + b_N Z^{-N}}{1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_M Z^{-M}} \quad (2.46)$$

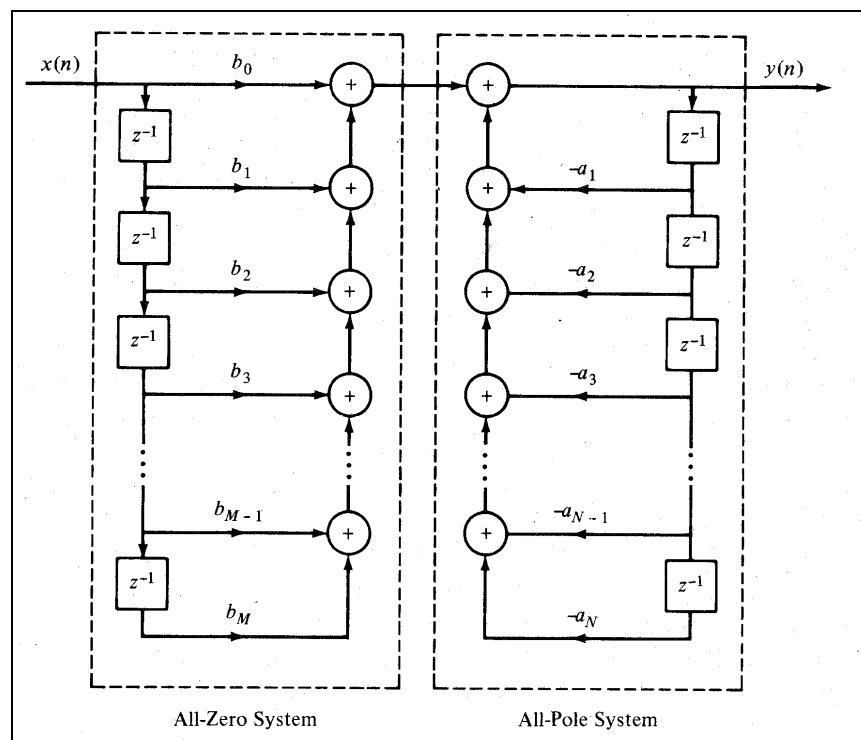
จากสมการที่ 2.46 นำไปจัดเทอมต่าง ๆ ใหม่และเขียนอยู่ในรูปสมการผลต่าง (Difference Equation) ได้ดังสมการที่ 2.47

$$Y(z) = \sum_{K=0}^N b_K X(z) Z^{-K} - \sum_{K=1}^M a_K Y(z) Z^{-K}$$

$$Y(z) = b_0 X(z) + b_1 X(z) Z^{-1} + \dots + b_K X(z) Z^{-K} - a_1 Y(z) Z^{-1} - \dots - a_K Y(z) Z^{-K}$$

$$Y(n) = \sum_{k=0}^N b_k X(n-k) - \sum_{k=1}^M a_k Y(n-k) \quad (2.47)$$

จากสมการที่ 2.47 สามารถนำมาเขียนเป็นโครงสร้างได้ดังภาพที่ 2.31 ซึ่ง เป็นโครงสร้างแบบตรง I (Direct form I)



ภาพที่ 2.32 โครงสร้างของตัวกรองไอโออาร์แบบตรง I

ถ้า นำ $\frac{w(z)}{w(z)}$ คูณตลอดในสมการที่ 2.46 จะได้

$$H(z) = \frac{w(z)}{w(z)} \times \frac{b_0 + b_1 Z^{-1} + \dots + b_N Z^{-N}}{1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_M Z^{-M}}$$

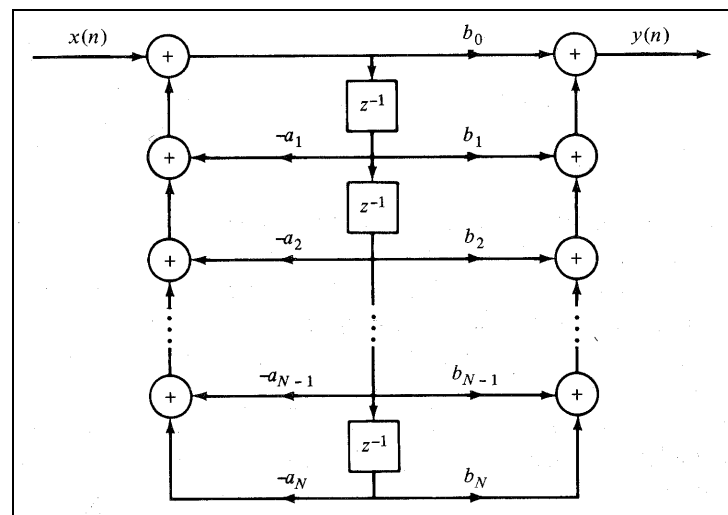
$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{w(z)}{w(z)} \times \frac{b_0 + b_1 Z^{-1} + \dots + b_N Z^{-N}}{1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_M Z^{-M}}$$

$$X(z) = w(z) + a_1 w(z) Z^{-1} + \dots + a_M w(z) Z^{-M}$$

$$w(z) = X(z) - a_1 w(z) Z^{-1} - \dots - a_M w(z) Z^{-M} \quad (2.48)$$

$$Y(z) = b_0 w(z) + b_1 w(z) Z^{-1} + \dots + b_N w(z) Z^{-N} \quad (2.49)$$

จากสมการที่ 2.48 และสมการที่ 2.49 สามารถนำไปเขียนเป็นโครงสร้างได้ดังภาพที่ 2.32 ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบตรง II (Direct form II)



ภาพที่ 2.33 โครงสร้างตัวกรองไอไออาร์แบบตรง II

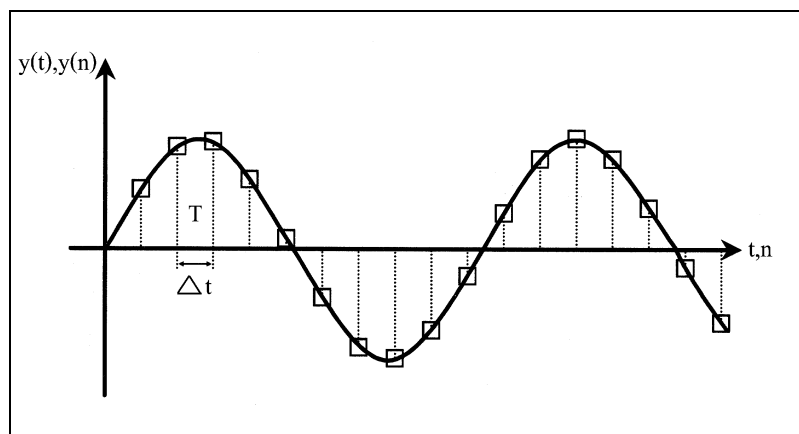
การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบไอไออาร์

การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบไอไออาร์สามารถกระทำได้ 4 วิธี คือ

1. การวางโพล-ซีโร (Pole-zero placement)
2. การประมาณค่าเบี่ยงเบน (Approximation of derivatives)
3. อิมพัลส์อินวาเรียนซ์ (Impulse invariance)
4. การแปลงเชิงเส้นคู่ (Bilinear transform)

การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบไอโออาร์ด้วยวิธีประมาณค่าเบี่ยงเบน

การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบไอโออาร์ด้วยวิธีประมาณค่าเบี่ยงเบนเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้แปลงเอสโดเมนไปสู่แซดโดเมน พิจารณาภาพที่ 2.33



ภาพที่ 2.34 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่เป็นช่วงกับสัญญาณที่ต่อเนื่อง

จากภาพที่ 2.33 จะพบว่า

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{\Delta y(t)}{\Delta t} \quad (2.50)$$

กำหนดให้ระยะห่างระหว่าง n กับ $n+1$ เท่ากับ T และเท่ากับ Δt ดังนั้น ณ เวลา t ใด ๆ จะได้

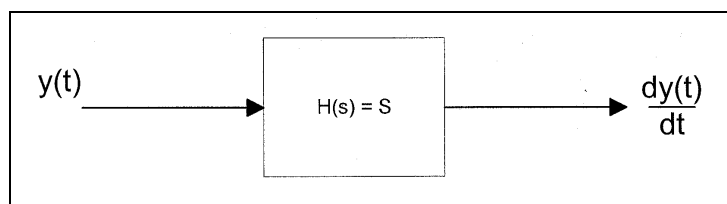
$$t = nT$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{y(nT) - y(nT - T)}{T} \quad (2.51)$$

T คือ อัตราสุ่ม (Sampling Rate) หรืออาจเขียนให้อยู่ในรูปความถี่สุ่ม, $f_s = \frac{1}{T}$ ก็ได้ ซึ่งค่า T นี้จะมีค่าเท่ากันทุกช่วง

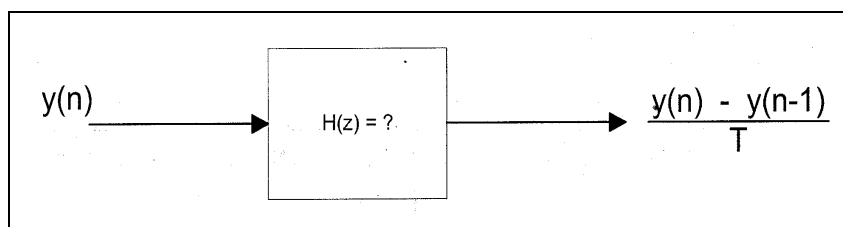
$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{y(n) - y(n-1)}{T} \quad (2.52)$$

กำหนดให้ $\frac{dy(t)}{dt}$ เป็นเอาต์พุตของระบบแวนาลอกที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน $H(s) = S$ โดยมีอินพุตเป็น $y(t)$



ภาพที่ 2.35 ระบบแวนะลอกที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น $H(s)$

และจากสมการที่ 2.52 กำหนดให้ $\frac{y(n) - y(n-1)}{T}$ เป็นเอาต์พุตของระบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) โดยมีอินพุตเป็น $y(n)$ และมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น $H(z)$ จะได้



ภาพที่ 2.36 ระบบไม่ต่อเนื่องที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนเท่ากับ $H(z)$

จากภาพที่ 2.35 พบว่าเอาต์พุตของระบบไม่ต่อเนื่อง คือ

$$\begin{aligned} y(z) \cdot H(z) &= \frac{y(z) - y(z)Z^{-1}}{T} \\ y(z) \cdot H(z) &= \frac{(1 - Z^{-1})y(z)}{T} \\ H(z) &= \frac{(1 - Z^{-1})}{T} \end{aligned} \quad (2.53)$$

และจากภาพที่ 2.34 เอาต์พุตของระบบแวนะลอกจะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{dy(t)}{dt} = H(s) \cdot y(t) \quad (2.54)$$

ณ จุดใด ๆ บนกราฟในภาพที่ 2.33 $y(n)$ จะมีค่าเท่ากับ $y(t)$ จะได้

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{y(n) - y(n-1)}{T}$$

$$H(s) \cdot y(t) = H(z) \cdot y(n)$$

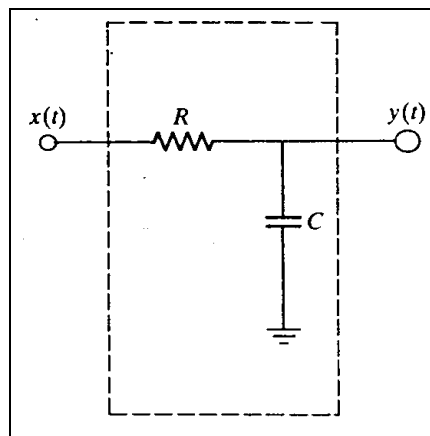
$$H(s) = H(z) \quad (2.55)$$

$$H(s) = S, H(z) = \frac{(1 - Z^{-1})}{T}$$

$$S = \frac{(1 - Z^{-1})}{T} \quad (2.56)$$

$$Z = \frac{1}{1 - ST} \quad (2.57)$$

พิจารณาวงจรรดงภาพที่ 2.36



ภาพที่ 2.37 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (RC Lowpass filter)

จากภาพที่ 2.36 วงจรจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการ

$$H(s) = \frac{\frac{1}{RC}}{S + \frac{1}{RC}} \quad (2.58)$$

กำหนดให้ $a = \frac{1}{RC}$ จะได้

$$H(s) = \frac{a}{S + a} \quad (2.59)$$

จากสมการที่ 2.59 จะได้ $H(z)$ มีค่าดังสมการที่ 2.60

$$H(z) = \frac{aT}{1 + aT - Z^{-1}} \quad (2.60)$$

$$Vo(z) + aTVo(z) - Vo(z)Z^{-1} = aTVi(z)$$

$$Vo(z) + aTVo(z) = aTVi(z) + Vo(z)Z^{-1}$$

$$Vo(z)(1 + aT) = aTVi(z) + Vo(z)Z^{-1}$$

$$Vo(z) = \frac{aTVi(z)}{(1 + aT)} + \frac{Vo(z)Z^{-1}}{(1 + aT)} \quad (2.61)$$

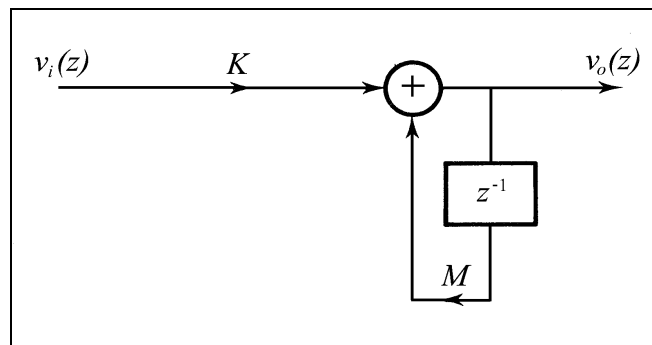
กำหนดให้

$$K = \frac{aT}{(1 + aT)}, M = \frac{1}{(1 + aT)}$$

$$Vo(n) = KVi(n) + MVo(n-1) \quad (2.62)$$

$$Vo(z) = KVi(z) + MVo(z)Z^{-1} \quad (2.63)$$

และจากสมการที่ 2.63 นำไปเขียนเป็น โครงสร้างได้ดังภาพที่ 2.37



ภาพที่ 2.38 โครงสร้างตัวกรองเชิงเลขความถี่ต่ำผ่าน 1 ลำดับ

การออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบไอโออาร์ด้วยการแปลงเชิงเส้นคู่

การแปลงฟังก์ชันในเอสโดเมนไปสู่แซดโดเมนด้วยวิธีเชิงเส้นคู่สามารถกระทำได้โดยใช้กฎของแท็ปปีซอยด์คอลล [2,4] (Trapezoidal) พิจารณาตัวกรองแบบแอนะล็อก ที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน $H(s)$ ดังสมการที่ 2.64

$$H(s) = \frac{b}{S + a} \quad (2.64)$$

จากฟังก์ชันถ่ายโอนตามสมการที่ 2.64 นี้สามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังสมการที่

2.65

$$\frac{dy(t)}{dt} + ay(t) = bx(t) \quad (2.65)$$

แทนอนุพันธ์ในสมการที่ 2.65 และประมาณค่าด้วยแท่งปียชอยด์คอลลได้ดังสมการที่ 2.66

$$y(t) = \int_{t_0}^t y'(\tau) d\tau + y(t_0) \quad (2.66)$$

เมื่อ $y(t)$ แทนอนุพันธ์ของ $y(t)$ การประมาณค่าของการอินทิกรัลในสมการที่ 2.65 ด้วยกฎของแท่งปียชอยด์คอลลที่ $t = nT$ และ $t_0 = nT - T$ จะได้

$$y(nT) = \frac{T}{2} \times [y'(nT) + y'(nT - T)] + y(nT - T) \quad (2.67)$$

ดังนั้นถ้าแทน $t = nT$ ในสมการเชิงอนุพันธ์ที่ 2.65 จะได้

$$y'(nT) = -ay(nT) + bx(nT) \quad (2.68)$$

นำสมการที่ 2.68 แทนลงในสมการที่ 2.67 และแทน $y(n) = y(nT), x(n) = x(nT)$ จะได้

$$(1 + \frac{aT}{2})y(n) - (1 - \frac{aT}{2})y(n-1) = \frac{bT}{2} [x(n) + x(n-1)] \quad (2.69)$$

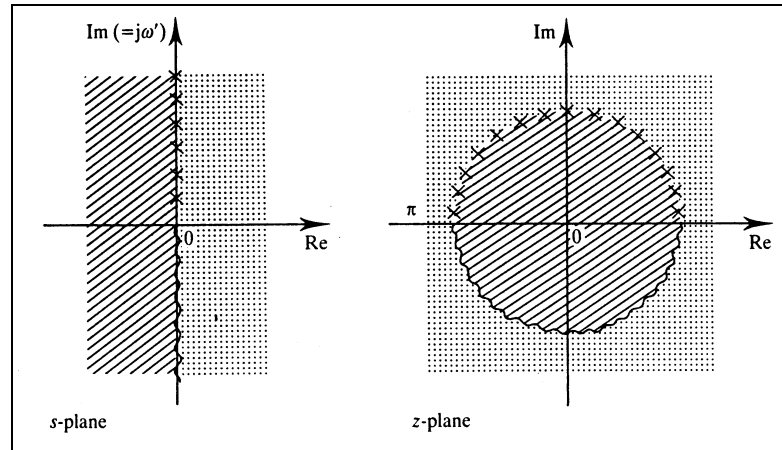
ใช้การแปลงแซด (Z-Transform) เปลี่ยนสมการผลต่าง (difference equation) ในสมการที่ 2.69 จะได้

$$\begin{aligned} (1 + \frac{aT}{2})Y(z) - (1 - \frac{aT}{2})Z^{-1}Y(z) &= \frac{bT}{2}(1 + Z^{-1})X(z) \\ H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} &= \frac{(bT/2)(1 + Z^{-1})}{1 + (aT/2) - (1 - aT/2)Z^{-1}} \\ H(z) &= \frac{b}{\frac{2}{T} \times \frac{(1 - Z^{-1})}{(1 + Z^{-1})} + a} \end{aligned} \quad (2.70)$$

เทียบสัมประสิทธิ์สมการที่ 2.64 กับสมการที่ 2.70 จะได้

$$S = \frac{2(1 - Z^{-1})}{T(1 + Z^{-1})} \quad (2.71)$$

ในการแมพจากระนาบเอสไปสู่วัฏนบแซดด้วยวิธีแปลงเชิงเส้นคู่จะพบว่าค่าที่อยู่ทางขวาของระนาบเอสจะไปอยู่นอกวงกลมหนึ่งหน่วยบนระนาบแซด ค่าที่อยู่ทางซ้ายของระนาบเอสจะไปอยู่ภายในวงกลมหนึ่งหน่วยและค่าที่อยู่บนแกนจินตภาพ จะไปอยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมหนึ่งหน่วยบนระนาบแซด ดังแสดงดังภาพที่ 2.38



ภาพที่ 2.39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อยู่บนระนาบเอสกับค่าที่อยู่บนระนาบแซดและจากสมการ

$$Z = re^{i\omega T} \quad (2.72)$$

$$Z = re^{i\omega T}$$

$$S = \sigma + j\Omega \quad (2.73)$$

$$S = \frac{2}{T} \times \frac{(1 - Z^{-1})}{(1 + Z^{-1})}$$

$$S = \frac{2}{T} \times \frac{(Z - 1)}{(Z + 1)} \quad (2.74)$$

$$S = \frac{2}{T} \times \frac{(re^{j\omega T} - 1)}{(re^{j\omega T} + 1)} \quad (2.75)$$

$$S = \frac{2}{T} \times \left(\frac{r^2 - 1}{1 + r^2 + 2r \cos \omega T} + j \frac{2r \sin \omega T}{1 + r^2 + 2r \cos \omega T} \right) \quad (2.76)$$

เมื่อเทียบสัมประสิทธิ์สมการที่ 2.73 กับสมการที่ 2.76 จะได้

$$\sigma = \frac{2}{T} \times \frac{r^2 - 1}{1 + r^2 + 2r \cos \omega T} \quad (2.77)$$

$$\Omega = \frac{2}{T} \times \frac{2r \sin \omega T}{1 + r^2 + 2r \cos \omega T} \quad (2.78)$$

จากสมการที่ 2.77 และสมการที่ 2.78 จะพบว่าถ้า $r < 1$, $\sigma < 0$ และถ้า $r > 1$, $\sigma > 0$ นั่นก็หมายความว่าค่าที่อยู่ทางซ้ายของระนาบเอส จะไปอยู่ภายในวงกลมหนึ่งหน่วยในระนาบแซด และค่าที่อยู่ทางขวาของระนาบเอส จะอยู่นอกวงกลมหนึ่งหน่วยในระนาบแซด และถ้า $r = 1$, $\sigma = 0$ ค่าที่อยู่บนแกนจินตภาพบนระนาบเอสจะไปอยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมรัศมีหนึ่งหน่วยบนระนาบแซด และเมื่อ $r = 1$ สมการที่ (2.78) จะได้ Ω มีค่าดังสมการที่ 2.79 และ 2.80

$$\Omega = \frac{2}{T} \times \frac{\sin wT}{1 + \cos wT} \quad (2.79)$$

$$\Omega = \frac{2}{T} \tan \frac{wT}{2} \quad (2.80)$$

สรุปขั้นตอนการออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบไอโออาร์ด้วยวิธีแปลงเชิงเส้นแบบคู่

1. ออกแบบตัวกรองความถี่แบบแอนะล็อกโดยการหาฟังก์ชันถ่ายโอน $H(s)$
2. หาความถี่คัท-ออฟหรือความถี่ขอบแถบผ่านของตัวกรองความถี่แบบดิจิทัล
3. หาค่า $\Omega = \frac{2}{T} \times \tan \frac{wT}{2}$
4. ทำสเกลความถี่ (Frequency scaling) $H(s)$ โดยแทนค่า $S = \frac{S}{\Omega}$
5. หาค่า $H(z)$ โดยแทนค่า S ตามสมการที่ 2.71

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ในกระบวนการวิวัฒนาการทางชีววิทยา สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด มีกระบวนการวิวัฒนาการสืบทอดเผ่าพันธุ์ เพื่อการอยู่รอดในจากุ่นสู่รุ่น เผ่าพันธุ์รุ่นใหม่จะสามารถปรับตัว (หรือปรับสายพันธุ์) เพื่อการอยู่รอด กระบวนการปรับสายพันธุ์ได้แก่การแลกเปลี่ยนยีนส์ การผ่าเหล่า เป็นต้น กระบวนการปรับปรุงสายพันธุ์นี้ ก็มีความจำเป็นที่จะต้องปรับให้เร็วทันกับสภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งหากปรับไม่ทันกับสภาพสิ่งแวดล้อมนั้นแล้ว สิ่งมีชีวิตนั้นก็สูญพันธุ์ไปในที่สุดส่วนของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นเครื่องมือหนึ่งในการหาคำตอบที่เหมาะสมกับแต่ละปัญหา โดยการเลียนแบบธรรมชาติ และกระบวนการวิวัฒนาการทางชีววิทยา โดยเริ่มต้นกำหนดประชากรเริ่มต้นขึ้นมา เปรียบเสมือนเป็นประชากรรุ่นแม่ จากการสุ่ม (ซึ่งเมื่อเปรียบกับปัญหา การสุ่มค่าครั้งแรกก็เป็นเสมือนคำตอบแรกของปัญหา แต่ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด) แล้วมีการวิวัฒนาการจากคำตอบแรกนี้ โดยการเลียนแบบธรรมชาติวิวัฒนาการไปเรื่อย จนได้คำตอบที่ดีที่สุด

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของวิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Computing) ซึ่งแนวความคิดของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ ได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Rechenberg (1960) ในปี ค.ศ. 1960 ต่อมา Holland ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1962 (Holland, 1962) และตีพิมพ์หนังสือเรื่อง "Adaptation in Natural and Artificial Systems" (Holland, 1975) ซึ่งถือได้ว่าเป็นโครงร่างของแนวความคิดในการนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมไปใช้ประโยชน์ในการค้นหาคำตอบโดยการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นกระบวนการวิธีการหาคำตอบ (Solutions) โดยประมาณของปัญหา ซึ่งมีการค้นหาคำตอบ โดยอาศัยหลักการจาก

ทฤษฎีวิวัฒนาการจากชีววิทยา ตามที่ Darwin (1859) ได้ค้นพบ โดยเลียนแบบการวิวัฒนาการ ผ่านการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Goldberg, 1989) ซึ่งในที่สุดสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมหรือแข็งแรงที่สุดจะอยู่รอด การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยมีการเข้ารหัสของปัญหาในเบื้องต้น (ซึ่งเปรียบเสมือนต้นตระกูลของสายพันธุ์ หรือโครโมโซมรุ่นแรก หรือประชากรรุ่นแรก) ต่อมาเริ่มเข้าสู่กระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยเข้ากระบวนการคัดลอก (Reproduction) เพื่อคัดลอกเป็นประชากรรุ่นแม่ (หรือเปรียบเสมือนเป็นการสืบพันธุ์) จากนั้นผ่านตัวกระทำต่าง ๆ ในแบบสุ่ม ได้แก่ การไขว้ข้าม (Crossover) หรือการแลกเปลี่ยนยีนเพื่อสืบทอดคุณลักษณะที่ดีของคำตอบ ผ่านตัวกระทำการเปลี่ยนค่า (Mutation) หรือการกลายพันธุ์ เพื่อให้ได้คำตอบที่หลากหลาย (Merelo and GeNeura, 1997) จากนั้นเข้าสู่ตัวกระทำคัดเลือก (Selection) ซึ่งเป็นการคัดเลือกหาคำตอบ (ประชากร) ที่เหมาะสม โดยจะได้ผลลัพธ์ออกมาสองทางเลือกคือ คำตอบของปัญหา หรือสายพันธุ์ในรุ่นถัดไปที่ดีขึ้น กับคำตอบที่ไม่ดีกว่าเดิม ซึ่งขั้นตอนนี้จะมีการคัดเอาคำตอบที่ดีไว้ใช้ แล้วก็จะวนเข้าสู่กระบวนการคัดลอกใหม่เพื่อวิวัฒนาการหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้น จนได้คำตอบสุดท้าย ที่เหมาะสมที่สุดจึงหยุดกระบวนการส่วนคำตอบที่ไม่เหมาะสมก็จะถูกตัดทิ้งไปจะเห็นได้ว่า ขั้นตอนวิวิธพันธุกรรม เริ่มต้นกระบวนการจากจุดเริ่มต้นหลาย ๆ จุด ซึ่งปกติแล้วจะเป็นแบบสุ่มซึ่งเรียกว่า ประชากร ทำงานด้วยเซตของตัวกระทำ โดยการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งไม่ต้องอาศัยวิธีการอื่นมาช่วย และใช้ความน่าจะเป็นเป็นเครื่องมือในการค้นหา (Goldberg, 1989) ได้มีการพิสูจน์แล้วว่าขั้นตอนวิวิธพันธุกรรมมีความทนทาน (Robust) และไม่ขึ้นกับโดเมน (Domain Independent) (Goldberg, 1989) จึงทำให้สามารถใช้ได้โดยทั่วไปกับลักษณะของปัญหาที่ต้องการหาค่าความเหมาะสม (Jarmo, 1994; 1995) โดยเฉพาะปัญหาที่ไม่สามารถแก้ได้ด้วยวิธีทั่วไป หรือไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยคณิตศาสตร์ เช่นปัญหาที่ต้องใช้คาดเดาแบบมีกฎ โดยการใช้วิทยาการศึกษาลำบาก (Heuristic) และโดยเฉพาะปัญหาประเภท NP (Nondeterministic Polynomial) (De Jong, 1989; Spears, 1990) ซึ่งเป็นปัญหาที่ไม่สามารถกำหนดเวลาแน่นอนในการคำนวณได้ การแก้ปัญหโดยขั้นตอนวิวิธพันธุกรรมมีคุณลักษณะที่เด่นดังนี้

1. เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยการเลียนแบบการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต นั่นคือมีการปรับตัวเข้าหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยวิวัฒนาการสืบทอดคุณลักษณะที่ดีจากรุ่นแม่คำตอบที่ได้ จะดีและเหมาะสม ยิ่งขึ้นเรื่อย ๆ
2. สามารถใช้กับปัญหาที่มีฟังก์ชันต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่องได้ อีกทั้งที่มีความสลับซับซ้อน หรือปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขโดยวิธีอื่น

3. สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้ มากกว่าหนึ่งค่า หลายตัวพร้อมกันแม้ว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จะสามารถแก้ปัญหายาก ๆ และปัญหาที่วิธีอื่นแก้ไม่ได้แล้ว แต่ตัวของมันเองก็มีจุดอ่อนเช่นกัน จุดอ่อนซึ่งเป็นปัญหาของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเองได้แก่ การจะสร้างความหลากหลายของคำตอบได้อย่างไร (การที่มีความหลากหลาย ทำให้คำตอบที่ได้ มีความหลากหลายตามด้วย ซึ่งจะทำให้ไม่มองข้ามคำตอบอื่นที่เป็นไปได้ซึ่งอาจเป็นคำตอบที่ดีกว่า) และด้วยความรวดเร็วประชากรเริ่มต้นควรมีจำนวน และขนาดเท่าไร หากน้อยเกินไป การไขว้ข้ามก็จะมีผลมาก (Spears and De Jong, 1990) และ เป็นไปได้ที่ความหลากหลายของคำตอบจะลดลงไป หากมากเกินไปก็จะทำให้ใช้เวลาในการคำนวณหาคำตอบนานเกินไป ตัวกระทำแต่ละตัวควรเป็นแบบใด และมีอัตราเท่าไร เช่น การไขว้ข้าม การเปลี่ยนค่า การคัดเลือกจะใช้วิธีใด ที่ระดับเท่าใด ตัวกระทำที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ ล้วนมีผลทำให้ การแก้ปัญหาด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีประสิทธิภาพมากขึ้นน้อยตามไปด้วย โดยเริ่มแรก Holland (1975) ได้ถือว่า ตัวกระทำหลัก คือ ตัวกระทำการไขว้ข้าม ควรมีอัตราในการกระทำมาก และการเปลี่ยนค่าควรมีอัตราในการกระทำน้อย ซึ่งจะทำให้ได้การทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม มีประสิทธิภาพอย่างไรก็ตาม จวบจนทุกวันนี้ ได้มีงานวิจัยมากมายที่ได้พยายามปรับปรุงตัวกระทำของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อแก้ปัญหาข้างต้น ได้มีงานวิจัยที่ได้ศึกษา และหาวิธีปรับปรุงการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อให้เพิ่มความหลากหลาย และความเร็วในการหาคำตอบ โดยการปรับปรุงตัวกระทำ และค่าพารามิเตอร์ของตัวกระทำ ว่าควรเป็นเท่าไรจึงจะเหมาะสมที่จะทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ตัวกระทำหลักของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมได้แก่การไขว้ข้าม และการเปลี่ยนค่า ซึ่งโดยปรกติแล้วการไขว้ข้าม จะเป็นการถ่ายทอดคุณลักษณะที่ดี (หรือไม่ดี) ของคำตอบ และเมื่อวิวัฒนาการไปในรอบต่อ ๆ ไป จะทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นเรื่อย ๆ ในลักษณะที่เป็นคำตอบเหมาะสมท้องถิ่น (Local Optimum Solution) เมื่อถึงจุดนี้ บทบาทของการเปลี่ยนค่า จะทำให้เกิดการกระโดดออกจากจุดท้องถิ่นไปยังจุดอื่น ซึ่งให้คำตอบอื่นที่ไม่ใช่คำตอบเดิม อันทำให้เกิดความหลากหลายขึ้น งานวิจัยต่าง ๆ ที่นักวิจัยได้วิจัยพัฒนานั้นได้แก่ การเพิ่มและปรับปรุงตัวกระทำใหม่ ๆ ได้แก่ ตัวกระทำกลับค่าชนิดปรับตัวได้ (Self-adaptive Inversion Operator) ตัวกระทำยกระดับ (Upgrading Operator) ตัวกระทำเคลื่อนย้าย (Translocation Operator) ตัวกระทำยีนกระโดด (Jumping Genes) และตัวกระทำยีนกระโดดแบบค่าจริงและปรับค่าได้ (Real and Variable-length Jumping Genes)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นการเลียนแบบการวิวัฒนาการทางพันธุกรรมกับการคำนวณ โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ได้แก่การหาค่าสูงสุด หรือต่ำสุดที่เหมาะสม ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเกิดจากแนวคิดด้านการวิวัฒนาการทางพันธุกรรมกับการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ ดังต่อไปนี้

1. การวิวัฒนาการทางพันธุกรรม วิชาการด้านพันธุศาสตร์ มนุษย์ได้มีคามศึกษามาแล้วตั้งแต่ก่อนคริสต์กาลประมาณ 500 ปี จนถึงอริสโตเติล (ก่อนคริสต์กาล 384-322 ปี) ได้เสนอว่า ในน้ำสุจิของฝ่ายชายนั้นมีความขนาดเล็กสำเร็จรูปอยู่แล้ว และเป็นตัวเริ่มต้นของมนุษย์ในครรภ์ และจากนั้นก็มีการศึกษามาเรื่อย ๆ จนถึง ค.ศ. 1859 Darwin (1859) ได้ตีพิมพ์ผลงานเรื่อง On the Origin of Species โดยเสนอแนวความคิดว่า สภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการคัดเลือกสิ่งมีชีวิต โดยจะต่อต้านสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถปรับตัวได้ แต่จะยอมรับสิ่งมีชีวิตที่ปรับตัวได้ ซึ่ง Darwin เรียกว่า การคัดเลือกโดยธรรมชาติ (Natural Selection) การคัดเลือกโดยธรรมชาติ จะค่อย ๆ ทำให้สิ่งมีชีวิตในแต่ละรุ่นมีความแตกต่างกัน แต่จะไม่ทำให้เห็นอย่างชัดเจน และความแตกต่างกันนี้จะค่อย ๆ เกิดขึ้นในแต่ละรุ่นจะถูกสะสมส่งผ่านทางพันธุกรรมไปยังรุ่นต่อ ๆ ไป อย่างเป็นระบบ ความแตกต่างนี้จะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตแต่ละประเภท ทำให้มีรูปร่างแตกต่างไปจากรูปแบบเดิม (Freeman, 1977) ค.ศ. 1822-1884 Gregor Johann Mendel (Bateson, 1902) ได้อธิบายและสรุปผลการทดลองของเขาในปี ค.ศ. 1865 ว่า ลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตจะถูกควบคุมโดย แฟกเตอร์ (Factors) (ซึ่งต่อมาเรียกว่า ยีน) โดยมีอยู่เป็นคู่ และถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ที่เป็นลักษณะเด่นและลักษณะด้อยเหล่านั้น ไปยังรุ่นต่อไปโดยผ่านทางเซลล์สืบพันธุ์ ค.ศ. 1844-1895 Johann Friedrich Miescher (Dahm, 2005) ได้ทำการแยกนิวเคลียสออกจากไซโทพลาซึม (Cytoplasm) ของเซลล์ที่เกิดหนอง (Pus Cell) เรียกว่านิวคลีอิน (Nuclein) และได้ศึกษาพบว่า นิวคลีอินนี้มีคุณสมบัติเป็นกรด จึงตั้งชื่อใหม่ว่า กรดนิวคลีอิก (Nucleic Acid) และก็คือดีเอ็นเอ ต่อมาจึงถือว่า Miescher เป็นบุคคลแรกที่พบ ดีเอ็นเอ ค.ศ. 1848-1935 De Vries Hugo (Ridley and Matt, 2003) เป็นผู้ค้นพบการกลายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต และได้เสนอทฤษฎีการกลายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต (Mutation Theory) เขาได้ทำการทดลองและค้นพบกฎการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรม ตรงตามที่เมนเดลรายงานไว้ และได้ยกย่องให้เกียรติแก่เมนเดล เป็นบิดาแห่งวิชาพันธุศาสตร์ ค.ศ. 1861-1926 William Bateson (Carroll, 2005) เป็นผู้ค้นพบลักษณะพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครโมโซม และเป็นผู้ตั้งชื่อวิทยาศาสตร์สาขานี้ว่า พันธุศาสตร์ ในวิชาพันธุศาสตร์ กล่าวว่า ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ประกอบไปด้วยนิวเคลียส ภายในนิวเคลียส ประกอบด้วยโครงสร้างยาว ๆ เล็ก ๆ ขดไปมาเต็มไปหมด เรียกโครงสร้างนี้ว่า โครโมโซม มนุษย์มีโครโมโซม 23 คู่ (46แท่ง) ลิงชิมแปนซีมี 24 คู่ สุนัข 39 คู่ แมว 19 คู่ เป็นต้น ภายในโครโมโซมประกอบด้วย ดีเอ็นเอ (DNA) ส่วนของดีเอ็นเอ ที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม

เรียกว่า ยีน (Gene) แต่ละยีนจะอยู่กันเป็นคู่ ๆ เรียกว่า อัลลีล (Allele) โครโมโซมที่มีลักษณะเป็นคู่นี้ จะได้รับจากพ่อ และแม่ อย่างละ 1 เส้น ดังนั้น ลักษณะสำคัญของพ่อและแม่จึงปรากฏอยู่ในรุ่นลูก ในขณะที่มีการจับคู่กันของโครโมโซม จะเกิดการไขว้ข้าม ระหว่างโครโมโซมของพ่อ และโครโมโซมของแม่ ทำให้เกิดโครโมโซมใหม่ขึ้นมา และขณะที่เซลล์เกิดการแบ่งตัว จะเกิดการคัดลอกโครโมโซม (chromosome copying) และบางครั้งเซลล์ที่เกิดขึ้นมาใหม่ ก็เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เหมือนกับพ่อและแม่มาก่อน ซึ่งเกิดจากการกลายพันธุ์ (mutation)

2. การเลียนแบบการวิวัฒนาการทางพันธุกรรม

การคำนวณเชิงวิวัฒนาการโดยคอมพิวเตอร์ ได้มีการนำมาใช้ในช่วงปี ค.ศ. 1950 โดยนักชีววิทยา ซึ่งนำมาจำลองระบบการวิวัฒนาการทางพันธุกรรม และต่อมาในต้นปี ค.ศ. 1954 Nils Aall Barricelli ได้ใช้คอมพิวเตอร์จากสถาบันการศึกษาชั้นสูงแห่งหนึ่งในปรั้นซ์ตัน มลรัฐนิวเจอร์ซีย์ สหรัฐอเมริกา แต่ผลงานของเขา ก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก ต่อมาในปี 1957 Alex Fraser ได้เผยแพร่ผลงานของเขาใน Simulation of Artificial Selection หลายฉบับ ต่อมาแนวความคิดของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ ได้ถูกนำเสนออย่างเป็นทางการครั้งแรกโดย Rechenberg (1960) นับจากนั้นเป็นต้นมา การใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองการวิวัฒนาการทางชีววิทยา ก็เริ่มเป็นที่แพร่หลาย และในช่วงนั้นเองในปี ค.ศ. 1959 Holland ได้นำเสนอการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ โดยการใช้คอมพิวเตอร์ (Holland, 1959) โดยมีการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานเป็นจำนวนมากในปีต่อ ๆ มา โดยในช่วงปีแรก ๆ ของผลงาน จะเป็นผลงานด้านการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ แล้วค่อย ๆ พัฒนามาเป็น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างเต็มรูปแบบในปี 1975 ซึ่งถือได้ว่า เป็นต้นแบบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จากนั้นได้มีนักวิจัยที่ได้ทำการวิจัย ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งต่อยอดจากฮอลแลนด์ เป็นจำนวนมากได้แก่ Goldberg (1980) และ De Jong (1975) เป็นต้น ในการเลียนแบบการวิวัฒนาการทางพันธุกรรม จะมีการนำศัพท์ด้านพันธุศาสตร์มาใช้ด้วย ซึ่งมีความหมายใกล้เคียงกับความหมายเริ่มต้น

ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โครโมโซม หมายถึงสายอักขร ซึ่งถูกเข้ารหัส (Encode) สายอักขรนี้ จะบรรจุด้วยข้อมูลที่เป็นอักขรที่เรียกว่า ยีน ภายในข้อมูลนั้น มีค่าและตำแหน่ง ค่าที่ปรากฏในตำแหน่ง นั้นเรียกว่า อัลลีล ส่วนตัวตำแหน่งเอง เรียกว่า โลกัส โครงสร้างของสายอักขร เปรียบเหมือนจีโนมไทป์ ซึ่งเป็นลักษณะที่ถูกถ่ายทอดทางพันธุกรรม ได้แก่ลักษณะทางกายภาพ ซึ่งเรียกว่าฟีโนไทป์ ซึ่งในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จะหมายถึง เซตของพารามิเตอร์หรือเซตของคำตอบในแง่ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นการแก้ปัญหา หรือการหาจุดเหมาะสม จะเป็นค่าสูงสุดหรือต่ำสุดก็ตาม เมื่อเริ่มต้นจะกำหนดปัญหาเป็นโครโมโซม มีการสุ่มเพื่อสร้างโครโมโซมรุ่นแรก

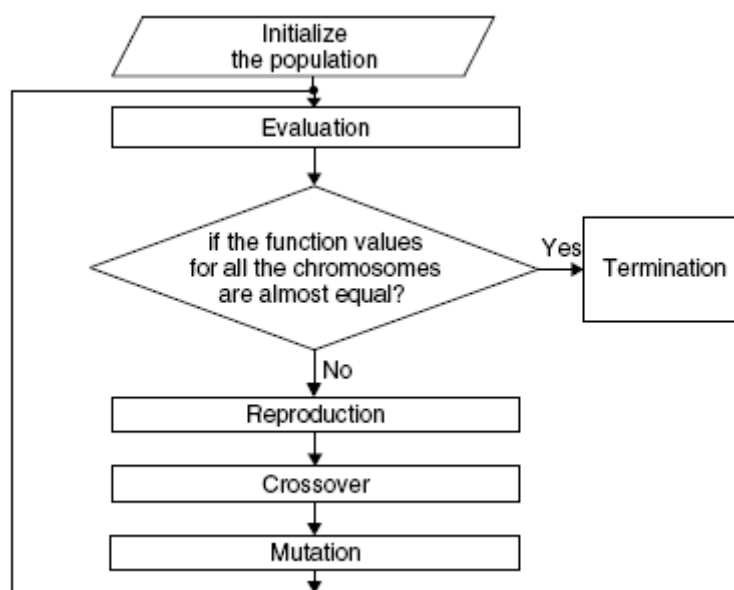
(เปรียบเทียบเสมือนการเริ่มต้นกระบวนการวิวัฒนาการทางชีววิทยา โดยมีโครโมโซมรุ่นแรก เป็นโครโมโซมตั้งต้น) จากนั้นสุ่มให้มีการจับคู่เพื่อถ่ายทอดหรือแลกเปลี่ยนยีน (เปรียบเทียบเสมือนเป็นการผสมพันธุ์ โดยมีการแลกเปลี่ยนยีนไปสู่รุ่นลูก) มีการสุ่มเปลี่ยนค่า(เปรียบเทียบเสมือนการผ่าเหล่า) จากนั้นก็เป็นการคัดเลือก (สายพันธุ์) และเข้าสู่กระบวนการวิวัฒนาการต่อไป จนกว่าได้ค่าที่เหมาะสมตามต้องการ

3. การแก้ปัญหาโดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่ Holland (1975) ได้นำเสนอไว้ นั้นประกอบไปด้วยการทำงาน ด้านการคำนวณ เป็นขั้นเป็นตอนดังนี้

1. การสุ่มค่าเริ่มต้น และประเมินค่าความแข็งแรงประชากร
2. การคัดเลือกเป็นประชากรรุ่นใหม่
3. การไขว้ข้าม
4. การเปลี่ยนค่า
5. การประเมินค่าความแข็งแรง
6. การแทนที่ประชากร
7. การตรวจสอบเงื่อนไขจบกระบวนการ หากไม่จบกระบวนการ เข้าสู่การทำงานรอบต่อไปที่ขั้นตอนที่ 2

ซึ่งต่อมา Goldberg (1989) ได้นำมาเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาปาสคาล โดยให้ชื่อว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบง่าย (Simple Genetic Algorithm) หรือ SGA ซึ่งภายในประกอบไปด้วยการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบง่าย ตามกระบวนการที่ได้แสดงไว้ดังภาพที่ 2-39 ผลการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบง่ายนับว่าเป็นผลการทำงานเริ่มต้นของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทีเดียว ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาเสริมแต่งขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เช่น การรองรับปัญหางานที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น การเพิ่มตัวแปรมากขึ้น ค่าของประชากรที่อาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามแต่ละลักษณะของปัญหา ตัวกระทำต่าง ๆ เช่น การไขว้ข้ามและการเปลี่ยนค่า มีการปรับเปลี่ยนการทำงานและรูปแบบ ให้แตกต่างออกไปเล็กน้อยตามลักษณะของปัญหาแล้วก็ตาม แต่ผลการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเหล่านั้น ส่วนใหญ่ก็ยังคงรักษาหลักขั้นตอนการทำงานเป็นไปตามขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่ายอยู่เช่นเดิม



ภาพที่ 2.40 กระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบง่าย

การสอนแบบโครงงาน

ในปัจจุบันนานาประเทศมีแนวคิดของการสอนวิทยาศาสตร์ที่มุ่งไปในทิศทางเดียวกันว่า ผู้เรียนต้องรู้จักคิดด้วยตนเอง และรู้จักสร้างองค์ความรู้ของตนเอง คือ think for themselves ซึ่งก็ต้องเข้าใจแนวคิดนี้ด้วยว่า ไม่ใช่การเรียนการสอนที่ผู้เรียนคิดเห็นแก่ตน หรือทำงานเองโดยลำพัง ค้นหาข้อมูลความรู้ตามยถากรรม หากแต่ผู้เรียนต้องมีวิธีการเรียนรู้ที่ทำให้สามารถค้นพบองค์ความรู้ได้เองและสามารถสร้างองค์ความรู้ขึ้นเองได้ (มนธิดา สีตะธนี, 2549, หน้า 27)

การเรียนการสอนที่ผู้เรียนได้มีโอกาสทำในสิ่งที่ตนเองสนใจอยากรู้ มีโอกาสเลือกสิ่งที่ต้องการเรียนรู้ มีโอกาสได้ใช้ความคิดหลายด้าน มีโอกาสได้ค้นพบสิ่งใหม่ มีโอกาสได้สร้างองค์ความรู้เอง และมีโอกาสได้ผลิตชิ้นงานที่มีนัยสำคัญต่อตนเองและผู้อื่น สิ่งข้างต้นเป็นการเรียนการสอนที่พัฒนาศักยภาพการเรียนรู้ที่มีความหมายมาก (มนธิดา สีตะธนี, 2549, หน้า 30)

โครงงาน คือ งานวิจัยเล็กๆ สำหรับนักเรียน เป็นการแก้ปัญหาหรือข้อสงสัย หากคำตอบโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หากเนื้อหาหรือข้อสงสัยเป็นไปตามกลุ่มสาระการเรียนรู้ใดจะเรียกว่า โครงงานในกลุ่มสาระการเรียนรู้นั้น (สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ, 2547, หน้า 5)

การสืบค้นทางวิทยาศาสตร์ (scientific investigations) ซึ่งเป็นกระบวนการสืบค้นที่เปิดโอกาสให้นักเรียนเป็นผู้วางแผนดำเนินการด้วยตนเอง ตั้งแต่ขั้นการกำหนดตัวแปร การออกแบบการทดลอง การเก็บข้อมูล การบันทึกผล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลความหมาย และสรุปผล โดยครูไม่ได้เป็นผู้กำหนด แต่ครูเป็นผู้อำนวยความสะดวก คอยดูแลให้คำปรึกษาและตั้งคำถามเพื่อช่วยนำทาง การสืบค้นทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นวิธีการที่นำมาใช้เพื่อการฝึกความคิดวิเคราะห์ คิด

สังเคราะห์ และฝึกทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ได้วิธีหนึ่ง ช่วยให้นักเรียนรู้จักการวางแผนทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ เรียนรู้วิธีการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และสื่อสารการสืบค้นของตนให้ผู้อื่นเข้าใจ(Mr. Mark Windale และปรีณัฏร พวงมณี., 2549, หน้า 15)



ภาพที่ 2.41 โครงการงานคอมพิวเตอร์

ที่มา : <http://www.krujongrak.com/winproject.html>

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการสอนที่เหมาะสมกับกลุ่มสาระการงานอาชีพและเทคโนโลยีและเหมาะสมที่จะถ่ายทอดผลงานวิจัยนี้บางส่วน คือ การสอนแบบโครงงาน แต่จะต้องพัฒนาครูผู้สอนให้มียุทธศาสตร์ความรู้มากพอที่จะอธิบายปรากฏการณ์และแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างที่จัดกระบวนการจัดการเรียนการสอนแบบโครงงาน ซึ่งก็เป็นไปตามหลักการที่ ศ.ดร. สุวิมล ว่องวานิชกล่าวไว้ว่า “คุณภาพการศึกษาไม่เกินคุณภาพครู” การพัฒนานักศึกษาคณะครูศาสตร์และครูให้สามารถพัฒนาเนื้อหาที่ตนสอน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการปฏิรูประบบการเรียนการสอน เพื่อให้เป็นไปตามแนวทางการจัดการศึกษามาตรา 22 ผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มตามศักยภาพ (พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545, 2547, หน้า 12)

การเรียนรู้ที่ดีจะเน้นกระบวนการสร้างสรรค์ผลงานด้วยตัวผู้เรียนเอง ผู้เรียนจะต้องวิเคราะห์ปัญหา ศึกษาทฤษฎี แล้วนำทฤษฎีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง การเรียนรู้แบบโครงงานเป็นกระบวนการแสวงหาความรู้ หรือการค้นคว้าหาคำตอบในสิ่งที่ผู้เรียนอยากรู้หรือสงสัยด้วยวิธีการต่างๆ เป็นวิธีการเรียนรู้ที่ผู้เรียนได้เลือกศึกษาตามความสนใจของตนเองหรือของกลุ่ม เป็นการตัดสินใจร่วมกัน จนได้ชิ้นงานที่สามารถนำผลการศึกษาไปใช้ได้ในชีวิตจริง

การเรียนรู้แบบโครงงาน เป็นการเรียนรู้ที่ใช้เทคนิคหลากหลายรูปแบบนำมาผสมผสานกัน ได้แก่ กระบวนการกลุ่ม การฝึกคิด การแก้ปัญหา การเน้นกระบวนการ การสอนแบบปรีสนา ความคิด และการสอนแบบร่วมกันคิด ทั้งนี้มุ่งหวังให้ผู้เรียนเรียนรู้เรื่องใดเรื่องหนึ่งจากความสนใจ อยากรู้อยากเรียนของผู้เรียนเอง โดยใช้กระบวนการและวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ผู้เรียนจะเป็นผู้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมต่างๆ เพื่อค้นหาคำตอบด้วยตนเอง เป็นการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์ตรงกับแหล่งความรู้เบื้องต้น ผู้เรียนสามารถสรุปความรู้ได้ด้วยตนเอง ซึ่งความรู้ที่ผู้เรียนได้มาไม่จำเป็นต้องตรงกับตำรา แต่ผู้สอนจะสนับสนุนให้ผู้เรียนศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากแหล่งการเรียนรู้และปรับปรุงความรู้ที่ได้ให้สมบูรณ์

การเรียนรู้แบบโครงงาน เป็นการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงหลักการพัฒนาการคิดของบลูม(Bloom) ทั้ง 6 ชั้น กล่าวคือ

1. ความรู้ความจำ (Knowledge)
2. ความเข้าใจ (Comprehension)
3. การนำไปใช้ (Application)
4. การวิเคราะห์ (Analysis)
5. การสังเคราะห์ (Synthesis)
6. การประเมินค่า (Evaluation)

นอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญในทุกขั้นตอนของการเรียนรู้ ตั้งแต่การวางแผนการเรียนรู้ การออกแบบการเรียนรู้ การสร้างสรรค์ประยุกต์ใช้ผลผลิต และการประเมินผลงาน โดยผู้สอนมีบทบาทเป็นผู้จัดการเรียนรู้

กระบวนการของกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงาน

กระบวนการแบ่งเป็น 3 ระยะใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ

ระยะที่ 1 การเริ่มต้นโครงงาน เป็นระยะที่ผู้สอนต้องสังเกต/สร้างความสนใจให้เกิดขึ้นในตัวผู้เรียน จากนั้นตกลงร่วมกัน เลือกเรื่องที่ต้องการศึกษาอย่างละเอียด ผู้สอนสร้างความสนใจให้

เกิดกับผู้เรียนซึ่งมีหลายวิธี โดยอาจศึกษาเรื่องจากการบอกเล่าของผู้ใหญ่หรือผู้รู้ จากประสบการณ์ของผู้เรียน/ผู้สอน จากเอกสารสิ่งพิมพ์ หรือสื่อต่างๆ จากการเรียนรู้ของผู้เรียน จากความคิดที่เกิดขึ้นจากวัตถุดิบของผู้สอนนำมาในห้องเรียน หรือจากตัวอย่างโครงการที่ผู้อื่นทำไว้แล้ว เป็นต้น เมื่อเกิดความสนใจแล้วก็จะถึงการกำหนดหัวข้อโครงการ โดยนำเรื่องที่ผู้เรียนสนใจมาอภิปรายร่วมกัน แล้วกำหนดเรื่องนั้นเป็นหัวข้อโครงการ ทั้งนี้จะต้องคำนึงว่าการกำหนดหัวข้อโครงการนั้นจะกระทำหลังจากการตรวจสอบสมมติฐานเสร็จสิ้นแล้ว

ระยะที่ 2 ขั้นพัฒนาโครงการ เป็นขั้นที่ผู้เรียนกำหนดหัวข้อคำถาม หรือประเด็นปัญหา ที่ผู้เรียนสนใจอยากรู้ แล้วตั้งสมมติฐานมาตอบคำถามเหล่านั้น ทดสอบสมมติฐานด้วยการลงมือปฏิบัติ จนค้นพบคำตอบด้วยตนเอง ตามขั้นตอนดังนี้

- 1 ผู้เรียนกำหนดปัญหาที่จะศึกษา
- 2 ผู้เรียนตั้งสมมติฐานเบื้องต้น
- 3 ผู้เรียนตรวจสอบสมมติฐานเบื้องต้น
- 4 สรุปข้อความรู้จากผลการตรวจสอบสมมติฐาน

ในกรณีที่ผลการตรวจสอบไม่เป็นไปตามสมมติฐาน ผู้สอนควรให้กำลังใจผู้เรียนเพื่อให้ผู้เรียนไปแสวงหาความรู้เพิ่มเติม สิ่งที่ไม่ควรกระทำคือการตำหนิหรือกล่าวโทษ ผู้สอนควรกระตุ้นให้ผู้เรียนมีกำลังใจจนสามารถตั้งสมมติฐานใหม่ได้ ในกรณีที่ผลการตรวจสอบเป็นไปตามสมมติฐาน ให้ผู้เรียนสรุปองค์ความรู้จากการค้นพบด้วยการลงมือปฏิบัติของผู้เรียนเองเมื่อได้องค์ความรู้ใหม่แล้ว ผู้เรียนจะนำองค์ความรู้นั้นไปใช้ในการทำกิจกรรมตามความสนใจต่อไปได้ ผู้เรียนอาจใช้ความรู้ที่ค้นพบเป็นพื้นฐานของการกำหนดประเด็นปัญหาขึ้นมาใหม่ เพื่อกำหนดเป็นโครงการย่อย เพื่อศึกษารายละเอียดในเรื่องนั้น ๆ ต่อไปอีก

ระยะที่ 3 ขั้นสรุป เป็นระยะสุดท้ายของโครงการที่ผู้เรียนค้นพบคำตอบของปัญหาแล้ว และได้แสดงให้เห็นว่าได้สิ้นสุดความสนใจในหัวข้อโครงการเดิม และเริ่มหันเหความสนใจไปสู่เรื่องใหม่ ระยะนี้เป็นระยะที่ผู้สอนและผู้เรียนจะได้แบ่งปันประสบการณ์การทำงานและแสดงให้เห็นถึงความสำเร็จของการทำงานตลอดโครงการแก่คนอื่น ๆ มีกิจกรรมที่ผู้สอนให้ผู้เรียนดำเนินการในขั้นตอนนี้ ดังนี้

1. ผู้เรียนเขียนรายงานเป็นรูปแบบงานวิจัยเล็ก ๆ
2. ผู้เรียนนำเสนอผลงานให้ผู้สนใจรับรู้ สรุปและนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้

ขั้นตอนการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบโครงงานมีดังนี้

1. ชี้นำเสนอ หมายถึง ขั้นที่ผู้สอนให้ผู้เรียนศึกษาใบความรู้ กำหนดสถานการณ์ ศึกษาสถานการณ์ เกม รูปภาพ หรือการใช้เทคนิคการตั้งคำถามเกี่ยวกับสาระการเรียนรู้ที่กำหนดในแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละแผน เช่น สาระการเรียนรู้ตามหลักสูตรและสาระการเรียนรู้ที่เป็นขั้นตอนของโครงงาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการเรียนรู้
2. ชี้นำวางแผน หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนร่วมกันวางแผน โดยการระดมความคิด อภิปรายหาหรือข้อสรุปของกลุ่มเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติ
3. ชี้นำปฏิบัติ หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนปฏิบัติกิจกรรมเขียนสรุปรายงานผลที่เกิดขึ้นจากการวางแผนร่วมกัน
4. ชี้นำประเมินผล หมายถึง ขั้นการวัดและประเมินผลตามสภาพจริง โดยให้บรรลุดูจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ โดยมีครู ผู้เรียนและเพื่อนร่วมกันประเมิน

แนวทางการจัดการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน มี 2 แนวทาง ดังนี้

1. การจัดกิจกรรมตามความสนใจเป็นการจัดกิจกรรมที่ให้ผู้เรียนเลือกศึกษาโครงงานจากสิ่งที่สนใจอยากรู้ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวัน สิ่งแวดล้อมในสังคม หรือจากประสบการณ์ต่างๆ ที่ยังต้องการคำตอบ ข้อสรุป ซึ่งอาจจะอยู่นอกเหนือจากสาระการเรียนรู้ในบทเรียนของหลักสูตร มีขั้นตอนดังต่อไปนี้
 - 1.1 ตรวจสอบ วิเคราะห์ พิจารณา รวบรวมความสนใจแก่ผู้เรียน
 - 1.2 กำหนดประเด็นปัญหา/หัวข้อเรื่อง
 - 1.3 กำหนดวัตถุประสงค์
 - 1.4 ตั้งสมมติฐาน
 - 1.5 กำหนดวิธีการศึกษาและแหล่งความรู้
 - 1.6 กำหนดเค้าโครงของโครงงาน
 - 1.7 ตรวจสอบสมมติฐาน
 - 1.8 สรุปผลการศึกษาและการนำไปใช้
 - 1.9 เขียนรายงานเชิงวิจัยง่ายๆ
 - 1.10 จัดแสดงผลงาน

2. การจัดกิจกรรมตามสาระการเรียนรู้เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยยึดเนื้อหาสาระตามหลักสูตรกำหนด ผู้เรียนเลือกทำโครงการตามสาระการเรียนรู้ จากหน่วยเนื้อหาที่เรียนในชั้นเรียน นามาเป็นหัวข้อโครงการ มีขั้นตอนที่ผู้สอนดำเนินการดังต่อไปนี้

2.1 เริ่มจากศึกษาเอกสารหลักสูตร คู่มือครู

2.2 วิเคราะห์หลักสูตร

2.3 วิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา เพื่อแยกเนื้อหา จุดประสงค์ และกิจกรรมให้เด่นชัด

2.4 จัดทำกำหนดการสอน

2.5 เขียนแผนการจัดการเรียนรู้

2.6 ผลิตสื่อ จัดหาแหล่งการเรียนรู้ ภูมิปัญญาท้องถิ่น

2.7 จัดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

2.7.1 แจกจุดประสงค์ เนื้อหาของหลักสูตรให้ผู้เรียนทราบ

2.7.2 กระตุ้นความสนใจของผู้เรียนในขอบเขตของเนื้อหาและจุดประสงค์ในหลักสูตร

2.7.3 จัดกลุ่มผู้เรียนตามความสนใจ

2.7.4 ผู้สอนใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

2.7.5 ผู้เรียนแต่ละกลุ่มศึกษาตามที่ตกลงกันไว้ (จากคำถามที่ผู้สอนซักถาม) ภายใต้อกรอบเวลาในแต่ละครั้ง ถ้ายังไม่สำเร็จให้ศึกษาต่อในคาบต่อไป

2.7.6 ผู้เรียนทุกคนต้องสรุปองค์ความรู้ได้ด้วยการเรียนของผู้เรียนและสามารถนำเสนอความรู้ที่ได้แก่เพื่อนๆ และผู้สอนได้

2.7.7 ผู้เรียนเขียนรายงานเชิงวิจัยแบบง่ายๆ และแสดงแผนโครงการ

2.8 ผู้สอนจัดแหล่งความรู้เพิ่มเติมให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2.9 ผู้สอนเขียนบันทึกผลการเรียนรู้

บทที่ 3

การออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลข

การออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลข

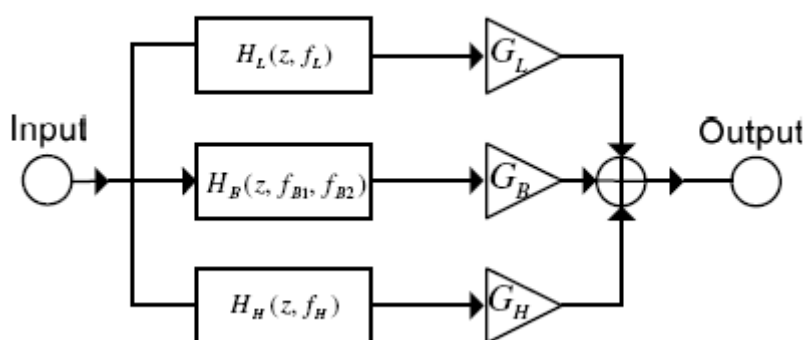
การออกแบบและพัฒนาเครื่องช่วยฟังในปัจจุบันนั้น มักจะเป็นการออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลข (Digital Hearing Aids) [1-2] เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีกว่าเครื่องช่วยฟังแบบเชิง-อุปมาน (Analog Hearing Aids) หลายประการ เช่น ขนาดเล็ก ใช้พลังงานน้อย สัญญาณรบกวนต่ำ และประการสำคัญก็คือ การปรับแต่งให้เหมาะสมกับผู้ใช้งานแต่ละรายทำได้ง่ายกว่าและมีความถูกต้องแม่นยำในการชดเชยการสูญเสียการได้ยินมากกว่า

เครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลขประกอบด้วยวงจรหลักคือ ตัวกรองสัญญาณเชิงเลข ซึ่งมักจะออกแบบให้มีโครงสร้างเป็นชุดของตัวกรองสัญญาณแบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด (FIR Filter Bank) ที่มีการกำหนดแถบความถี่ของแต่ละวงจรมีไว้ และในแต่ละวงจรมีสามารถปรับค่าอัตราการขยายสัญญาณเพื่อชดเชยการสูญเสียการได้ยินในแต่ละแถบความถี่ได้ [3-9] การออกแบบด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องออกแบบตัวกรองให้อันดับ (Order) สูง ๆ และแถบความถี่แคบ ๆ เพื่อให้ได้ความถูกต้องแม่นยำในการชดเชยการสูญเสียการได้ยินที่ดี ส่งผลให้วงจรมีขนาดใหญ่ ซับซ้อน และที่สำคัญคือ ใช้พลังงานสูงทำให้เกิดปัญหาต่อการใช้งาน เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว [12] ได้นำเสนอวิธีการออกแบบตัวกรองใหม่ โดยออกแบบให้มีโครงสร้างเป็นชุดตัวกรองสัญญาณแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัด (IIR Filter Bank) จำนวน 3 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณสามารถปรับอัตราขยายและแถบความถี่ได้ การออกแบบตัวกรองสัญญาณดังกล่าวใช้วิธีการแปลงเชิงเส้นคู่ (Bilinear Transform) โดยใช้ตัวกรองเชิงอุปมานต้นแบบเป็นแบบเชฟบีเชฟชนิดที่ 1 (Chebyshev type-I) และนำตัวดำเนินการปาสคาลเมทริกซ์มาช่วยในการแปลงเชิงเส้นคู่ด้วย ส่วนการหาค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวกรองสัญญาณเชิงเลข ผู้วิจัยใช้วิธีการหาโดยการนำค่าต่ำสุดของฟังก์ชันค่าผิดพลาดสูงสุด (Error maximum function) ระหว่างค่าผลตอบสนองทางขนาดที่ต้องการกับค่าผลตอบสนองทางขนาดรวมที่ได้จากชุดตัวกรองเชิงเลขไปหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยขั้นตอนวิธี Nelder-Mead บทความดังกล่าวมุ่งเน้นนำเสนอการออกแบบในส่วนของโครงสร้างวงจรเป็นหลัก ผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์เพียงวิธีเดียวและใช้ตัวเชิงอุปมานต้นแบบเพียงแบบเดียว จึงยังไม่สามารถระบุได้ว่าถ้าเปลี่ยนตัวกรองเชิงอุปมานต้นแบบเป็นแบบอื่นหรือใช้ขั้นตอนวิธีในการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอื่น ๆ จะได้ผลการวิจัยเป็นอย่างไร ดังนั้นบทความนี้จึงได้นำเสนอวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเชิงเลขแบบอิมพัลส์ไม่จำกัดที่มี

โครงสร้างเป็นชุดตัวกรองที่สามารถปรับอัตราขยายและแถบความถี่ได้ดังกล่าวแล้ว โดยจะศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้ตัวกรองเชิงอุปมานันต์แบบแบบเซฟิเซฟ ชนิดที่ 1 และแบบแบตเตอรี่-เวอร์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยขั้นตอนวิธี Nelder-Mead และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm)

โครงสร้างของตัวกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัด

โครงสร้างของชุดตัวกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดที่น่าเสนอ โดย [10] ประกอบด้วยตัวกรองสัญญาณเชิงเลข 3 ตัวคือ ตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ตัวกรองสัญญาณแถบความถี่ผ่าน และตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน โดยนำมาต่อกันแบบขนาน (Parallel) เป็นชุดตัวกรองสัญญาณ (Filter-Bank) ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของชุดตัวกรองสัญญาณ

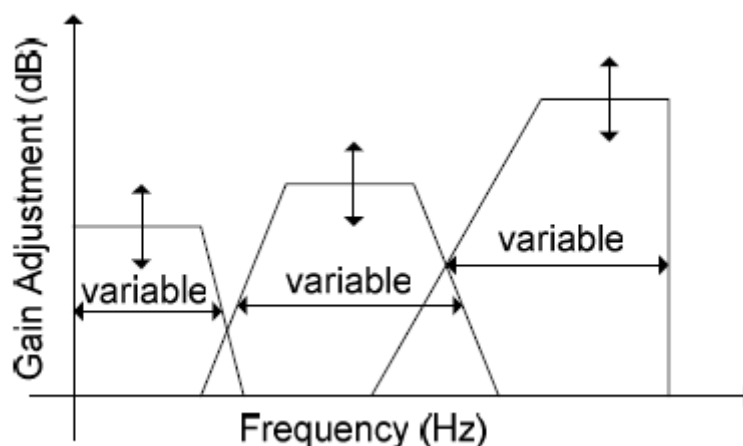
ตัวกรองสัญญาณเชิงเลขนี้สามารถปรับความถี่ตัดและอัตราขยาย (gain) ได้ จึงเรียกว่าตัวกรองปรับค่าได้ (Variable filter) ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอนของชุดตัวกรองสัญญาณดังสมการที่ 3.1

$$H(z, \mathbf{x}) = G_L H_L(z, f_L) + G_B H_B(z, f_{B1}, f_{B2}) + G_H H_H(z, f_H) \quad (3.1)$$

เมื่อ $\mathbf{x}$ เป็นเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดคุณลักษณะของชุดตัวกรองสัญญาณให้มีผลตอบสนองทางขนาดชดเชย (compensate) การสูญเสียการได้ยินตามภาพบันทึกการได้ยิน (audiogram) ที่กำหนด ดังนั้นเวกเตอร์ $\mathbf{x}$ จึงประกอบด้วยค่าความถี่ตัด และอัตราขยายของแต่ละตัวกรองสัญญาณที่ประกอบกันเป็นชุดตัวกรองสัญญาณ ดังสมการที่ 3.2

$$\mathbf{x} = [f_L \quad f_{B1} \quad f_{B2} \quad f_H \quad G_L \quad G_B \quad G_H] \quad (3.2)$$

การปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 7 ค่าในเวกเตอร์ $\mathbf{X}$ เป็นอิสระต่อกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.2 จึงทำให้สามารถสร้างผลตอบสนองทางขนาดที่ไปชดเชยรูปแบบการสูญเสียการได้ยินให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น



ภาพที่ 3.2 การปรับค่าผลตอบสนองทางขนาดและความถี่ตัดของชุดตัวกรองแบบปรับค่าได้

ในการที่จะทำให้ชุดตัวกรองสัญญาณที่ประกอบไปด้วยตัวกรองสัญญาณปรับค่าได้ 3 วงจรมีผลตอบสนองทางขนาดรวมในลักษณะที่ไปชดเชยการสูญเสียการได้ยินนั้น ความกว้างของแถบความถี่ซึ่งกำหนดจากค่าความถี่ตัดและอัตราการขยายของแต่ละวงจรจะได้มาจากการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยจะทำการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันค่าผิดพลาดสูงสุดระหว่างค่าผลตอบสนองทางความถี่ที่ต้องการกับค่าผลตอบสนองทางขนาดของชุดตัวกรองสัญญาณที่ออกแบบ ดังสมการที่ 3.3

$$E_{\max}(\mathbf{x}) = \max \{|M(f_i, \mathbf{x}) - M_d(f_i)|\} \quad (3.3)$$

เมื่อ $M_d(f_i)$ คือ ผลตอบสนองทางขนาดที่ต้องการ (Desired amplitude response) สำหรับการชดเชยการสูญเสียทางการได้ยิน

$M(f_i, \mathbf{x})$ คือ ผลการตอบสนองทางขนาดของชุดตัวกรองสัญญาณที่ออกแบบ (Actual amplitude response) โดยมีเวกเตอร์ $\mathbf{X}$ เป็นตัวกำหนดผลตอบสนองที่ได้

$E_{\max}(\mathbf{x})$ คือ ฟังก์ชันค่าผิดพลาดสูงสุดระหว่างค่าผลตอบสนองทางขนาดที่ต้องการกับค่าผลตอบสนองทางขนาดของชุดตัวกรองสัญญาณที่ออกแบบ เมื่อพิจารณาสมการที่ 3.2 จะเห็นว่าค่าพารามิเตอร์ทั้ง 7 ค่าในเวกเตอร์ $\mathbf{X}$ นั้นเป็นตัวแปรความถี่ที่ใช้ในการกำหนดคุณลักษณะของชุดตัวกรองสัญญาณให้มีผลตอบสนองทางขนาดตามที่ต้องการ ซึ่งจะมีช่วงความถี่ที่เป็นไปได้ไม่เกิน 8,000 เฮิรซ์ เพราะเป็นความถี่สูงสุดที่ใช้ในการทดสอบการสูญเสียการได้ยิน ดังนั้นเพื่อให้ช่วงของ

ค่าความถี่มีค่าที่น้อยกว่าเดิมและช่วยให้การลู่เข้าหาคำตอบทำได้ดีขึ้น สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนตัวแปรความถี่ขึ้นมาใหม่ ดังนี้

การหาค่าความถี่ตัดของตัวกรองแถบความถี่ต่ำผ่าน

$$f_L = |\sin(x_1)|\Delta_1 \quad (3.4)$$

การหาค่าความถี่ตัดของตัวกรองแถบความถี่ผ่าน

$$f_{B1} = |\sin(x_2)|\Delta_1 \quad (3.5)$$

$$f_{B2} = f_{B1} + |\sin(x_3)|\Delta_2 \quad (3.6)$$

การหาค่าความถี่ตัดของวงจรแถบความถี่สูงผ่าน

$$f_H = |\sin(x_4)|\Delta_1 \quad (3.7)$$

เมื่อ Δ_1 เท่ากับ 8,000 เฮิรตซ์ และ Δ_2 เท่ากับ $\Delta_1 - f_{B1}$

ดังนั้นจากสมการที่ 3.4 ถึงสมการที่ 3.7 สามารถสรุปตัวแปรความถี่ใหม่ได้ดังนี้

$$x_1 = \arcsin\left(\frac{f_L}{\Delta_1}\right) \quad (3.8)$$

$$x_2 = \arcsin\left(\frac{f_{B1}}{\Delta_1}\right) \quad (3.9)$$

$$x_3 = \arcsin\left(\frac{f_{B2} - f_{B1}}{\Delta_2}\right) \quad (3.10)$$

$$x_4 = \arcsin\left(\frac{f_H}{\Delta_1}\right) \quad (3.11)$$

ดังนั้นเวกเตอร์ x ใหม่ที่ได้ จะเป็นดังสมการที่ 12 ค่าต่างๆ ในเวกเตอร์ x จะถูกนำไปใช้ในการหาค่าผลตอบสนองทางขนาดรวมของชุดตัวกรองเชิงเลขอิมพัลส์ไม่จำกัด

$$\mathbf{X} = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4 \quad G_L \quad G_B \quad G_H] \quad (3.12)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเชิงเลขอิมพัลส์ไม่จำกัดด้วยตัวดำเนินการปาสคาลเมทริกซ์

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเชิงเลขอิมพัลส์ไม่จำกัดในบทความนี้จะใช้วิธีการแปลงเชิงเส้นคู่ด้วยตัวดำเนินการปาสคาลเมทริกซ์ที่นำเสนอโดย [10] มีขั้นตอนวิธีการดังต่อไปนี้

1. การแปลงความถี่ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองเชิงอุปมานมาตรฐาน

การแปลงความถี่ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองเชิงอุปมานมาตรฐานเป็นการดำเนินการเพื่อให้ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีความถี่ตัดตามต้องการ โดยการแทนค่าใน S โดเมนด้วยค่าต่างๆ ดังนี้ การแปลงความถี่แบบแถบความถี่ต่ำผ่านเป็นแบบแถบความถี่ต่ำผ่านแทนค่าดังสมการที่ 3.13

$$S' = \frac{S}{\Omega_c} \quad (3.13)$$

การแปลงความถี่แบบแถบความถี่ต่ำผ่านเป็นแบบแถบความถี่สูงผ่านแทนค่าดังสมการที่ 3.14

$$S' = \frac{\Omega_c}{S} \quad (3.14)$$

การแปลงความถี่แบบแถบความถี่ต่ำผ่านเป็นแบบแถบความถี่ผ่านแทนค่าดังสมการที่ 3.15

$$S' = \frac{S^2 + \Omega_{c1}\Omega_{c2}}{S(\Omega_{c2} - \Omega_{c1})} \quad (3.15)$$

เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เชิงอุปมานและความถี่เชิงเลขเป็นดังสมการที่ 3.16

$$\Omega = \tan \frac{\omega T}{2} \quad (3.16)$$

เพื่อให้การคำนวณมีประสิทธิภาพมากขึ้นจะทำการปรับค่าความสัมพันธ์ระหว่าง S โดเมนและ Z โดเมนดังสมการที่ 3.17 ใหม่ ดังนี้

$$S = \frac{1 - Z^{-1}}{1 + Z^{-1}} \quad (3.17)$$

สำหรับการแปลงความถี่แบบแถบความถี่ต่ำผ่านเป็นแบบแถบความถี่ต่ำผ่านปรับเป็นสมการที่ 3.18

$$S = c \frac{1 - Z^{-1}}{1 + Z^{-1}} \quad (3.18)$$

$$\text{เมื่อ } c = \cot\left(\frac{\pi f_L}{f_s}\right)$$

สำหรับการแปลงความถี่แบบแถบความถี่ต่ำผ่านเป็นแบบแถบความถี่สูงผ่านปรับเป็นสมการที่ 3.19

$$S = k \frac{1 + Z^{-1}}{1 - Z^{-1}} \quad (3.19)$$

$$\text{เมื่อ } k = \tan\left(\frac{\pi f_H}{f_s}\right)$$

สำหรับการแปลงความถี่แบบแถบความถี่ต่ำผ่านเป็นแบบแถบความถี่ผ่านปรับเป็นสมการที่ 3.20

$$S = \hat{c} \left[\frac{1 - Z^{-1}}{1 + Z^{-1}} + \hat{k} \frac{1 + Z^{-1}}{1 - Z^{-1}} \right] \quad (3.20)$$

$$\text{เมื่อ } \hat{k} = k_1 k_2 \text{ และ } \hat{c} = \frac{1}{k_2 - k_1} \text{ โดย } k_1 = \tan\left(\frac{\pi f_{B1}}{f_s}\right) \text{ และ } k_2 = \tan\left(\frac{\pi f_{B2}}{f_s}\right)$$

2. การหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองเชิงเลขอิมพัลส์ไม่จำกัดด้วยตัวดำเนินการปาสคาลเมทริกซ์

การหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองเชิงเลขอิมพัลส์ไม่จำกัดด้วยตัวดำเนินการปาสคาลเมทริกซ์จะมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างปาสคาลเมทริกซ์โดยให้สมาชิกของแถวแรกทุกตัวมีค่าเป็น 1 ดังสมการที่ 3.21 และสมาชิกของคอลัมน์แรกมีค่าดังสมการที่ 3.22

$$P_{0,j} = 1 \text{ สำหรับทุกค่า } j \quad (3.21)$$

$$P_{i,0} = \binom{N}{i} \text{ สำหรับทุกค่า } i \quad (3.22)$$

ส่วนสมาชิกของเมทริกซ์ตัวอื่นๆ ให้มีค่าดังสมการที่ 3.23

$$P_{i,j} = P_{i,j-1} - P_{i-1,j-1} - P_{i-1,j} \quad (3.23)$$

แต่ในกรณีของการแปลงเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแถบความถี่สูงผ่านจะกำหนดให้สมาชิกของแถวแรกทุกตัวมีค่าดังสมการที่ 3.24

$$P_{i,0} = \binom{N}{i} (-1)^i \quad (3.24)$$

ส่วนส่วนสมาชิกของเมทริกซ์ตัวอื่นๆ ให้มีค่าดังสมการที่ 3.25

$$P_{i,j} = P_{i,j-1} - P_{i-1,j-1} - P_{i-1,j} \quad (3.25)$$

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างเมทริกซ์ช่วย (Auxiliary matrix) ในกรณีของการหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแถบความถี่ต่ำผ่านให้กำหนดค่าดังสมการที่ 3.26 ส่วนในกรณีของการหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแถบความถี่สูงผ่านให้กำหนดค่าดังสมการที่ 3.27

$$Aux_{i,j}^{(LP)} = \begin{cases} \hat{c}_i; i = j \\ 0; others \end{cases} \quad (3.26)$$

$$Aux_{i,j}^{(HP)} = \begin{cases} \hat{k}_i; i = j \\ 0; others \end{cases} \quad (3.27)$$

แต่ในกรณีของการหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแถบความถี่ผ่านจะต้องสร้างเมทริกซ์ช่วย 2 เมทริกซ์ ดังสมการที่ 3.28 และกำหนดค่าของสมาชิกแต่ละตัวในแต่ละเมทริกซ์ดังสมการที่ 3.29 และ 3.30 ตามลำดับ

$$[Aux_{i,j}] = [Aux1_{i,j}] [Aux2_{i,j}] \quad (3.28)$$

$$Aux1_{i,j}^{(BP)} = \frac{j! \hat{k}^{(j+N-i)/2}}{\left(\frac{j+N-i}{2}\right)! \left(\frac{i+j-N}{2}\right)!} \quad (3.29)$$

$$Aux2_{i,j}^{(BP)} = \begin{cases} \hat{c}_i; i = j \\ 0; others \end{cases} \quad (3.30)$$

ขั้นตอนที่ 3 การหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองเชิงเลขอิมพัลส์ไม่จำกัด ดังสมการที่ 3.31 และ

3.32

$$[a_i] = [P_{i,j}][Aux_{i,j}][A_i] \quad (3.31)$$

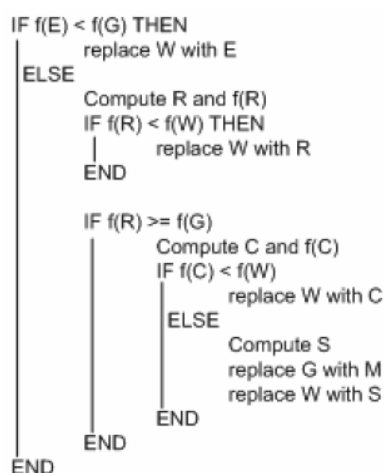
$$[b_i] = [P_{i,j}][Aux_{i,j}][B_i] \quad (3.32)$$

วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของสัมประสิทธิ์ของชุดตัวกรองเชิงเลขปรับค่าได้

การหาค่าเหมาะสมที่สุดของสัมประสิทธิ์ของชุดตัวกรองเชิงเลขปรับค่าได้แบบอิมพัลส์ไม่จำกัดเพื่อให้ได้ผลตอบสนองทางขนาดไปชดเชยการสูญเสียการได้ยินนั้น มีวิธีการและขั้นตอนดังนี้

1. การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบไม่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีการ Nelder-Mead

การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Nelder-Mead [11] จะมีขั้นตอนวิธีการดำเนินการตามรหัสเทียม (Pseudo code) ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 รหัสเทียมขั้นตอนวิธี Nelder-Mead เพื่อการหาค่าเหมาะสมที่สุด

ขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Nelder-Mead จะเริ่มต้นโดยการสุ่มค่าที่จะใช้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเชิงเลขขึ้นมาเก็บไว้ในตัวแปร B,G,W โดยค่าใน B จะเป็นค่าที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ส่วนค่าใน G จะเป็นค่ากลาง และค่า W จะเป็นค่าที่มีความเหมาะสมน้อยที่สุด ในกรณีที่เป็นการหาค่าต่ำสุด ค่าใน B ต้องเป็นค่าที่ทำให้ค่าฟังก์ชัน $f(B)$ มีค่าต่ำสุด ค่าใน G เป็นค่าที่ทำให้ค่าฟังก์ชัน $f(G)$ มีค่าอยู่ระหว่าง $f(B)$ และ $f(W)$ ส่วนค่า W จะเป็นค่าที่ทำให้ฟังก์ชัน $f(W)$ มีค่ามากที่สุด ดังสมการที่ 3.33

$$f(B) < f(G) < f(W) \quad (3.33)$$

ขั้นตอนที่ 2

ถ้าค่าในตัวแปรทั้งสามหรือค่าในแต่ละฟังก์ชันมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ ก็จะสามารถสรุปได้ว่าค่าในตัวแปร B เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นตอนที่ 3

ถ้าค่าในตัวแปรทั้งสามยังไม่ใช่ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ อัลกอริทึมจะคาดว่าค่าที่ต้องการหาจะอยู่ด้านตรงข้ามกับค่าที่มีความเหมาะสมน้อยที่สุด คือ อยู่ตรงข้ามกับค่า W และอยู่บนเส้นตรง BG จึงทำการหาค่า M และค่า E ดังสมการที่ 3.34 และสมการที่ 3.35

$$M = \frac{B+G}{2} \quad (3.34)$$

$$E = 3M - 2W \quad (3.35)$$

จากนั้นนำค่า E ไปหาค่า $f(E)$ แล้วนำค่า $f(E)$ ไปเทียบกับค่า $f(G)$ ถ้า $f(E)$ มีค่าน้อยกว่า $f(G)$ แสดงว่าค่า E ต่ำกว่าค่า W จึงแทนค่า W ด้วยค่า E ถ้าไม่ใช่ก็จะหาค่า R ดังสมการที่ 3.36

$$R = (M + E)/2 \quad (3.36)$$

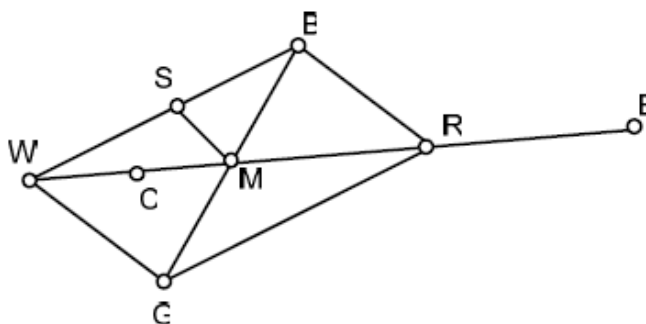
เมื่อได้ค่า R มาแล้วนำค่า R ไปหาค่า $f(R)$ ถ้าค่า $f(R)$ ที่ได้มีค่าน้อยกว่า $f(W)$ จะแทนค่า W ด้วยค่า R ถ้า $f(R)$ มากกว่าหรือเท่ากับ $f(G)$ จะทำการหาค่า S ดังสมการที่ 3.37

$$S = (W + M)/2 \quad (3.37)$$

และถ้า $f(S) < f(W)$ จะแทนค่า W ด้วยค่า S ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้ จะแทนค่า B ด้วยค่า M และแทนค่า C ด้วยค่า C_1 โดยค่า C_1 หาได้จากสมการที่ 3.38

$$C_1 = \frac{(B+W)}{2} \quad (3.38)$$

ขั้นตอนนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.4



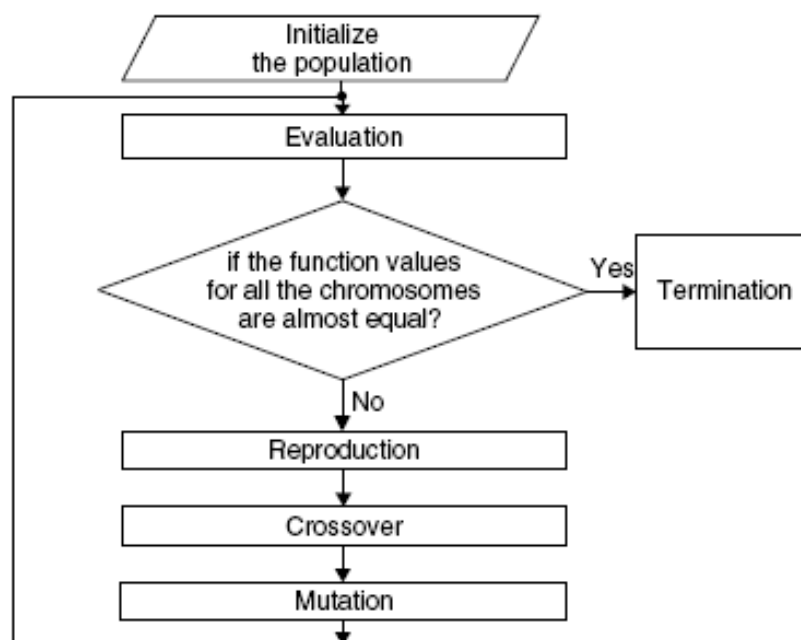
ภาพที่ 3.4 การหาดำแหน่งของค่าต่าง ๆ ด้วยวิธีการ Nelder-Mead

ขั้นตอนที่ 4 กลับไปเริ่มต้นขั้นตอนที่ 1 ใหม่

การหาค่าของฟังก์ชันแต่ละค่าในแต่ละรอบจะทำการนำค่าในเวกเตอร์ X ดังสมการที่ 3.2 ไปคำนวณหาค่าผลตอบแทนทางขนาดโดยใช้สมการที่ 3.1 จากนั้นจะนำค่าที่ได้ไปหาค่าความแตกต่างของผลตอบแทนทางขนาดมากที่สุดด้วยสมการที่ 3 และหาค่าต่ำสุดที่ได้จากสมการที่ 3.3 โดยการดำเนินการตามขั้นตอนวิธีนี้ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจะกระทำจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขของขั้นตอนวิธีคือครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้หรือได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้

2. การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบไม่เป็นเชิงเส้นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบไม่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม หรือ GA เป็นวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยหลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติและปฏิบัติการทางสายพันธุ์ อัลกอริทึมของ GA จะมีวิวัฒนาการในการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมากขึ้นเรื่อย ๆ จากรุ่นหนึ่งไปสู่รุ่นหนึ่ง เช่นเดียวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะเริ่มด้วยการคัดเลือกสายพันธุ์หรือประชากร เพื่อใช้เป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ จากนั้นจะทำการปฏิบัติการทางสายพันธุ์ คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมและยีนเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นซึ่งจะประกอบด้วยการรวมตัวหรือครอสโอเวอร์ (crossover) และการกลายพันธุ์ (mutation) สุดท้ายจะเป็นการแทนที่ (replacement) คือ กระบวนการแทนต้นกำเนิดสายพันธุ์เดิมด้วยสายพันธุ์ใหม่ที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า ดังนั้นขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจึงประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

จากภาพที่ 3.5 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะมีวิธีดำเนินการ ดังนี้

- (1) การสร้างประชากรโดยการสุ่ม (random)
- (2) การประเมินโครโมโซมของประชากรทั้งหมดโดยอาศัยฟังก์ชันวัตถุประสงค์
- (3) การคำนวณค่าความเหมาะสมของประชากร
- (4) การคัดเลือกโครโมโซมบางกลุ่มมาเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์
- (5) การสร้างสายพันธุ์ใหม่ด้วยการดำเนินการทางสายพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วยการรวมตัวหรือการครอสโอเวอร์และการกลายพันธุ์
- (6) การคำนวณค่าความเหมาะสมของประชากรสายพันธุ์ใหม่
- (7) การแทนที่ประชากรเดิมด้วยสายพันธุ์ใหม่ แล้วกลับไปเริ่มต้นทำซ้ำ (2) ใหม่จนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

เนื่องจากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีกลไกในการวิวัฒนาการเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิต คือ จะดำเนินการไปเรื่อยๆ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ได้ค่าหรือคำตอบที่ดีขึ้น จากคำตอบวงแคบเฉพาะถิ่น (local solution) ไปยังคำตอบวงกว้าง (global solution) ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะหยุดค้นหา เมื่อเงื่อนไขการหยุดค้นหาสอดคล้อง โดยทั่วไปจะอาศัยเงื่อนไขเกี่ยวกับจำนวนรุ่นที่ต้องการหรือค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ คำตอบที่ดีที่สุดที่พบก็คือ โครโมโซมที่ดีที่สุดในกลุ่มของประชากร [12 – 14]

ในบทความนี้จะใช้สมการที่ 3.3 เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีค่าในเวกเตอร์ X ดังสมการที่ 12 เป็นค่าที่จะใช้ในการหาค่าผลตอบแทนทางขนาดด้วยสมการที่ 1 เป็นเสมือนโครโมโซมที่จะใช้ในการสร้างประชากร

เนื้อหาการอบรมเชิงปฏิบัติการ

เนื่องจากครูและนักศึกษาคณะครุศาสตร์ส่วนมากยังไม่มีพื้นฐานความรู้ในการใช้งานโปรแกรมแมทแลบ ในการอบรมคณะผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องให้ความรู้พื้นฐานการใช้งานโปรแกรมแมทแลบก่อน โดยมีเนื้อหา ดังนี้

1. เริ่มต้นกับแมทแลบ จะกล่าวถึงการใช้งานโปรแกรมแมทแลบเบื้องต้นด้วยคำสั่งคณิตศาสตร์พื้นฐาน ฟังก์ชันตรีโกณมิติ ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลและลอการิทึม การหาค่ารากของจำนวนจริง

2. เวกเตอร์และเมทริกซ์ จะกล่าวถึงการสร้างเวกเตอร์ การสร้างเมทริกซ์ การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ของเวกเตอร์และเมทริกซ์ การดำเนินการระหว่างเวกเตอร์หรือเมทริกซ์ทีละสมาชิก

3. การพล็อตกราฟ จะประกอบไปด้วยเรื่อง การใช้คำสั่ง plot การใช้คำสั่ง fplot การปรับแต่งกราฟ การพล็อตกราฟบนแกนลอการิทึม การพล็อตกราฟหลายแกนในหน้าต่างเดียวกัน การพล็อตกราฟชนิดอื่น ๆ การพล็อตกราฟสามมิติ

4. การเขียนโปรแกรม จะประกอบไปด้วยเรื่อง การเขียนสคริปต์ไฟล์ การเขียนฟังก์ชันไฟล์ การรับข้อมูลจากแป้นพิมพ์และการแสดงผล การอ่านและเขียนข้อมูลผ่านไฟล์ คำสั่งสำหรับการเขียนโปรแกรม

5. การแก้สมการพีชคณิต ประกอบด้วยเรื่อง สมการโพลิโนเมียล สมการอดิคัย ระบบสมการเชิงเส้น ระบบสมการไม่เชิงเส้น

6. การประมาณค่าในช่วงและการฟิตสมการ ประกอบด้วยเรื่อง ฟังก์ชันโพลิโนเมียล การประมาณค่าในช่วง การฟิตสมการ และการประมวลกลุ่มข้อมูล

7. การอินทิเกรตและการหาค่าอนุพันธ์ ประกอบด้วยเรื่อง การอินทิเกรตทั่วไป การอินทิเกรตเชิงตัวเลข การหาค่าอนุพันธ์

8. การแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ประกอบด้วยเรื่อง สมการเชิงอนุพันธ์เดี่ยวและระบบสมการเชิงอนุพันธ์

9. คณิตศาสตร์สัญลักษณ์ ประกอบด้วยเรื่อง การกำหนดสัญลักษณ์ การกระจายและรวมพจน์ในสมการพีชคณิต การหาค่าอนุพันธ์และการอินทิเกรต การแก้สมการเชิงอนุพันธ์

10. การสอนแบบโครงงาน

11. การเขียนข้อเสนอโครงงาน

12. การประยุกต์ใช้โปรแกรมเมทแลบในการจัดการเรียนการสอนแบบโครงงาน

หลังการอบรมได้ให้ผู้เข้ารับการอบรมได้ประเมินตนเองด้วยแบบสอบถาม ดังต่อไปนี้



แบบสอบถามงานวิจัย

เรื่อง

ความคิดเห็นของผู้เข้ารับการอบรมที่มีต่อการอบรมเชิงปฏิบัติการ
เรื่อง การประยุกต์ใช้โปรแกรมแมทแลบในการจัดการเรียนการสอนแบบโครงงาน

คำชี้แจงสำหรับผู้ตอบแบบสอบถาม

1. การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความคิดเห็นของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยาที่มีต่อการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การประยุกต์ใช้โปรแกรมแมทแลบในการจัดการเรียนการสอนแบบโครงงาน
2. แบบสอบถามมีทั้งหมด 3 หน้า แบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ
 - ส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐาน เกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ ตำแหน่ง เพศ อายุ ระดับการศึกษา ลักษณะของคำถามเป็นแบบเลือกตอบ (Checklists) และ/หรือเติมคำลงในช่องว่างที่กำหนด
 - ส่วนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามต่อการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การประยุกต์ใช้โปรแกรมแมทแลบในการจัดการเรียนการสอนแบบโครงงาน ลักษณะของคำถามเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ
 - ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะ เพื่อพิจารณาประเด็นปัญหาที่พบและสิ่งที่ควรปรับปรุง

ขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงที่ท่านกรุณาให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามนี้
เพื่อคณะผู้จัดทำจะได้นำไปแก้ไขปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

ส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ หน้าข้อความที่ตรงกับสภาพความเป็นจริงของท่าน หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่กำหนด

1. สถานภาพ ☐ นักศึกษาระดับปริญญาตรี

ชั้นปี ☐ ปี 1 ☐ ปี 2 ☐ ปี 3 ☐ ปี 4 หรือมากกว่า

คณะ/สาขาวิชา

☐ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

ระดับ ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก

คณะ/สาขาวิชา

2. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

3. อายุ ☐ 17-22 ปี ☐ 23-28 ปี ☐ 29-36 ปี ☐ 37 ปีขึ้นไป

ส่วนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อการเข้ารับการอบรม

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

5 = เห็นด้วยอย่างยิ่ง 4 = เห็นด้วย 3 = ไม่แน่ใจ 2 = ไม่เห็นด้วย 1 = ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. การจัดเรียงลำดับและความยาก-ง่ายของเนื้อหาในการอบรมมีความเหมาะสม					
2. ความรู้ ความสามารถของวิทยากรเหมาะสม					
3. เอกสารประกอบการอบรมมีความเหมาะสม					
4. คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการอบรมมีความเหมาะสม					
5. สภาพห้องปฏิบัติการอบรมมีความเหมาะสม					
6. ระดับความพึงพอใจที่มีต่ออาหารและของว่าง					
7. การประชาสัมพันธ์และสื่อที่ใช้ประชาสัมพันธ์					
8. ช่วงเวลาที่ใช้ในการอบรมเหมาะสม					
9. ประโยชน์ของการเข้ารับการอบรม					
10. การนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้					

ส่วนที่ 3 ระดับความรู้ ความเข้าใจของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อเนื้อหาที่เข้ารับการอบรม

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

5 = เข้าใจมาก 4 = เข้าใจ 3 = ไม่แน่ใจ 2 = ไม่เข้าใจ 1 = ไม่เข้าใจมาก

รายการประเมิน	ระดับความรู้ ความเข้าใจ				
	5	4	3	2	1
1. เนื้อหาเรื่อง แม่ทแยงเบื้องต้น					
2. เนื้อหาเรื่อง เวกเตอร์และเมทริกซ์					
3. เนื้อหาเรื่อง การพล็อตกราฟ					
4. เนื้อหาเรื่อง การเขียนโปรแกรม					
5. เนื้อหาเรื่อง การแก้สมการพีชคณิต					
6. เนื้อหาเรื่อง การประมาณค่าในช่วงและการพิสัย					
7. เนื้อหาเรื่อง การอินทิเกรตและการหาค่าอนุพันธ์					
8. เนื้อหาเรื่อง การแก้สมการเชิงอนุพันธ์					
9. เนื้อหาเรื่อง คณิตศาสตร์สัญลักษณ์					
10. การสอนแบบโครงงาน					
11. การเขียนข้อเสนอโครงงาน					
12. การประยุกต์ใช้โปรแกรมแม่ทแยงในการจัดการเรียนการสอนแบบโครงงาน					

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะเป็นข้อคำถามให้พิจารณาประเด็นเรื่อง ปัญหาที่พบและสิ่งที่ควรปรับปรุง

1. ปัญหาที่ท่านพบในการเข้ารับการอบรมในครั้งนี้

.....

.....

.....

2. ข้อติชมและข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงการอบรมในครั้งต่อไป

.....

.....

.....

-- ขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงที่ท่านกรุณาให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามนี้ --

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเลข (Digital hearing aid) และนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปถ่ายทอดให้กับนักศึกษาครูและครูเพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจในขั้นตอนวิธีการออกแบบทางวิศวกรรม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาอังกฤษและเทคโนโลยีได้ ผลการวิจัยพบว่าการออกแบบเครื่องช่วยฟังโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาค่าเหมาะสมที่สุดได้ผลลัพธ์ที่ดีมาก ค่าความผิดพลาดของการชดเชยการสูญเสียการได้ยินน้อยลงอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องช่วยฟังด้วยวิธีอื่น ๆ ในส่วนของ การถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนั้น พบว่านักศึกษาครูและครูมีความรู้ ความเข้าใจใน ขั้นตอนวิธีการออกแบบทางวิศวกรรม และการนำไปนำประยุกต์ใช้เพื่อจัดการเรียนรู้ในกลุ่มสาระ การงานอาชีพและเทคโนโลยีเพิ่มมากขึ้น

ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้พบปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการ จำลองการทำงานเพื่อชดเชยค่าสูญเสียการได้ยินบางแบบมีค่าสูงมาก ไม่สามารถนำไปใช้ในการ สร้างจริงได้

การถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยยังทำได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากนักศึกษาครูและครูมี พื้นพื้นฐานความรู้ด้านวิศวกรรมน้อย เนื้อหาในการบรรยายระหว่างการการประชุมปฏิบัติการ ค่อนข้างยากและมีศัพท์เทคนิคมาก ประกอบกับเวลาที่ใช้ในการจัดประชุมน้อยจึงต้องบรรยาย อย่างรวดเร็ว ทำให้ผู้เข้าร่วมประชุมติดตามเนื้อหาไม่ทัน

ในส่วนของปัญหาด้านธุรการนั้นงานวิจัยนี้พบอุปสรรคในเรื่องทุนสนับสนุนการวิจัย อนุมัติล่าช้า และการเบิก-จ่ายงบประมาณไม่เอื้อต่อการดำเนินงานวิจัยเท่าที่ควร

ข้อเสนอแนะการวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยเรื่องนี้สมบูรณ์ขึ้น คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. วิจัยเพื่อหาวิธีลดค่าสัมประสิทธิ์ที่ยังสูงมากของการชดเชยการสูญเสียการได้ยินบาง แบบ เพื่อให้สามารถนำไปสร้างได้จริง
2. ควรมีการประชุมปฏิบัติการเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยให้นักศึกษาครูและ ครูต่อเนื่องต่อไปอีก โดยแบ่งเนื้อหาในการประชุมแต่ละครั้งให้เหมาะสม

ภาคผนวก ก

1. โปรแกรมจำลองการทำงานการชดเชยการสูญเสียการได้ยินด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
2. โปรแกรมจำลองการทำงานการชดเชยการสูญเสียการได้ยินด้วยขั้นตอนวิธี Nelder-Mead

โปรแกรมจำลองการทำงานการชดเชยการสูญเสียการได้ยินด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

```
clear all; close all; format long; clc;
```

```
f = 8000;
```

```
fs = 4*f;
```

```
x0d = f/fs:f/fs:250;
```

```
x0dl = length(x0d);
```

```
y0d = 10*ones(1,x0dl);
```

```
x1d = 250+f/fs:f/fs:500;
```

```
y1d = 5+((15-10)/(500-251)*x1d);
```

```
x2d = 500+f/fs:f/fs:1000;
```

```
y2d = 8+((22-15)/(1000-501)*x2d);
```

```
x3d = 1000+f/fs:f/fs:2000;
```

```
y3d = 4+((40-22)/(2000-1001)*x3d);
```

```
x4d = 2000+f/fs:f/fs:4000;
```

```
y4d = 30+((50-40)/(4000-2001)*x4d);
```

```
x5d = 4000+f/fs:f/fs:8000;
```

```
y5d = 35+((65-50)/(8000-4001)*x5d);
```

```
x = [x0d x1d x2d x3d x4d x5d];
```

```
y = [y0d y1d y2d y3d y4d y5d];
```

```
y = y(250*fs/f:round((fs-250*fs/f)/800):fs);
```

```

l = [-100 -1 -1 -0.1 -0.1 -1 -1];

u = [ 1  9 20  15  5  150 900]; %upperbound

x0 = [-0.97389614169149  0.01409805522191  0.06301777292212  0.07850843536806
0.00459123632782  0.69761555471260  7.52421191270527]*1e2; %gaa1fs32k_b7.4463

Np = 200; %population size

Nb = [32 32 32 32 32 32 32];

Pc = 0.5; Pm = 0.01; %Probability of crossover/mutation

eta = 1; kmax = 150; %learning rate and the maximum # of iterations

tic;

[xo_gen,fo_gen,fxb] = genetic2(y,x0,l,u,Np,Nb,Pc,Pm,eta,kmax);

toc;

```

```

function [xo,fo,fxb] = genetic2(y,x0,l,u,Np,Nb,Pc,Pm,eta,kmax)

N = length(x0);

if nargin < 10, kmax = 100; end %# of iterations(generations)

if nargin < 9|eta > 1|eta <= 0, eta = 1; end %learning rate(0 < eta < 1)

if nargin < 8, Pm = 0.01; end %probability of mutation

if nargin < 7, Pc = 0.5; end %probability of crossover

if nargin < 6, Nb = 8*ones(1,N); end %# of genes(bits) for each variable

if nargin < 5, Np = 10; end %population size(number of chromosomes)

%Initialize the population pool

NNb = sum(Nb);

xo = x0(:)'; l = l(:)'; u = u(:)';

%fo = feval(f,xo);

fo(1,:) = filter_out4(xo(1,1),xo(1,2),xo(1,3),xo(1,4),xo(1,5),xo(1,6),xo(1,7));

fX(1,:) = max(abs(fo(1,:)-y));

X(1,:) = xo;

for n = 2:Np, X(n,:) = l + rand(size(x0)).*(u - l); end %Eq.(7.1.26)

P = gen_encode(X,Nb,l,u); %Eq.(7.1.27)

for k = 1:kmax

    X = gen_decode(P,Nb,l,u); %Eq.(7.1.28)

    for n = 1:Np,

        %fX(n) = feval(f,X(n,:));

        fo(n,1:length(y)) = filter_out4(X(n,1),X(n,2),X(n,3),X(n,4),X(n,5),X(n,6),X(n,7));

        fX(n,:) = max(abs(fo(n,:)-y));

    end

    [fxb,nb] = min(fX); %Selection of the fittest

    disp(k); fxb

    figure(3); plot(k,fxb); hold on;

    if fxb < 7.0,

```

```

    format long;

    disp(X(nb,:));

    return;
end

if fxb < fo,

    fo = fxb;

    xo = X(nb,:);

end

fX1 = max(fX) - fX; %make the nonnegative fitness vector by Eq.(7.1.29)

fXm = fX1(nb);

if fXm < eps,

    return;

end

for n = 1:Np

    X(n,:) = X(n,:) + eta*(fXm - fX1(n))/fXm*(X(nb,:) - X(n,:)); %Eq.(7.1.30)

end

P = gen_encode(X,Nb,l,u);

%Mating/Crossover

is = shuffle([1:Np]);

for n = 1:2:Np - 1

    if rand < Pc,

        P(is(n:n + 1),:) = crossover(P(is(n:n + 1),:),Nb);

    end

end

P = mutation(P,Nb,Pm);

end

figure(1);

n = nb;

```

```
pt = filter_out4(X(n,1),X(n,2),X(n,3),X(n,4),X(n,5),X(n,6),X(n,7));  
pt_1 = length(pt);  
pt = pt(1:(pt_1-1)/7750:pt_1);  
nt = (250:1:8000);  
pt = pt';  
plot(nt,pt,'r');  
hold on;  
grid on;  
y = y(1:(pt_1-1)/7750:pt_1);  
plot(nt,y);  
axis([0 8000 0 70]);  
figure(2);  
plot(nt,y-pt);  
grid on;  
disp(X(nb,:));
```

```

function [pt] = filter_out4(x1,x2,x3,x4,GL,GB,GH)

f = 8000;

fs = 4*f;

fl = abs(sin(x1))*f;

c = cot(pi*fl/fs);

a1 = [1 2 1];

b1 = [(1+sqrt(2)*c+c^2) (2-2*c^2) (1-sqrt(2)*c+c^2)];

a1 = a1/b1(1);

a1 = GL*a1;

b1 = b1/b1(1);

p1 = freqz(a1,b1,fs);

p1 = abs(p1);

fc1 = abs(sin(x2))*f;

fc2 = fc1+abs(sin(x3))*(f-fc1);

k1 = tan(pi*fc1/fs);

k2 = tan(pi*fc2/fs);

kh = k1*k2;

ch = 1/(k2-k1);

P = [1 1 1 1 1;4 2 0 -2 -4;6 0 -2 0 6;4 -2 0 2 -4;1 -1 1 -1 1];

AUX1 = [0 0 kh^2;0 kh 0;1 0 2*kh;0 1 0;0 0 1];

AUX2 = [1 0 0;0 ch 0;0 0 ch^2];

A = [1;0;0];

B = [1;sqrt(2);1];

b2 = P*AUX1*AUX2*B;

a2 = P*AUX1*AUX2*A;

a2 = a2/b2(1);

```

```
a2 = GB*a2;
```

```
b2 = b2/b2(1);
```

```
p2 = freqz(a2,b2,fs);
```

```
p2 = abs(p2);
```

```
fh = abs(sin(x4))*f;
```

```
k = tan(pi*fh/fs);
```

```
a3 = [1 -2 1];
```

```
b3 = [(k^2+sqrt(2)*k+1) (2*k^2-2) (k^2-sqrt(2)*k+1)];
```

```
a3 = a3/b3(1);
```

```
a3 = GH*a3;
```

```
b3 = b3/b3(1);
```

```
p3 = freqz(a3,b3,fs);
```

```
p3 = abs(p3);
```

```
pt = (p1+p2+p3);
```

```
pt = 20*log10(pt);
```

```
pt = pt(250*fs/f:round((fs-250*fs/f)/800):fs);
```

```
%pt = pt(250:40:fs);
```

```

function P = gen_encode(X,Nb,l,u)

% encode a population(X) of state into an array(P) of binary strings

Np = size(X,1); %population size

N = length(Nb); %dimension of the variable(state)

for n = 1:Np,

    b2 = 0;

    for m = 1:N,

        b1 = b2+1; b2 = b2 + Nb(m);

        Xnm =(2^Nb(m)- 1)*(X(n,m) - l(m))/(u(m) - l(m)); %Eq.(7.1.27)

        P(n,b1:b2) = dec2bin(Xnm,Nb(m)); %encoding to binary strings

    end

end
end

```

```

function X = gen_decode(P,Nb,l,u)

% decode an array of binary strings(P) into a population(X) of state

Np = size(P,1); %population size

N = length(Nb); %dimension of the variable(state)

for n = 1:Np

    b2 = 0;

    for m = 1:N

        b1 = b2 + 1; b2 = b1 + Nb(m) - 1; %Eq.(7.1.28)

        X(n,m) = bin2dec(P(n,b1:b2))*(u(m) - l(m))/(2^Nb(m) - 1) + l(m);

    end

end

```

```
function is = shuffle(is) % shuffle

N = length(is);

for n = N:-1:2

    in = ceil(rand*(n - 1)); tmp = is(in);

    is(in) = is(n); is(n) = tmp; %swap the n-th element with the in-th one

end
```

```
function chrms2 = crossover(chrms2,Nb)

% crossover between two chromosomes

Nbb = length(Nb);

b2 = 0;

for m = 1:Nbb

b1 = b2 + 1; bi = b1 + mod(floor(rand*Nb(m)),Nb(m)); b2 = b2 + Nb(m);

tmp = chrms2(1,bi:b2);

chrms2(1,bi:b2) = chrms2(2,bi:b2);

chrms2(2,bi:b2) = tmp;

end
```

```

function P = mutation(P,Nb,Pm) % mutation

Nbb = length(Nb);

for n = 1:size(P,1)

    b2 = 0;

    for m = 1:Nbb

        if rand < Pm

            b1 = b2 + 1; bi = b1 + mod(floor(rand*Nb(m)),Nb(m)); b2 = b2 + Nb(m);

            P(n,bi) = ~P(n,bi);

        end

    end

end

end

```

โปรแกรมจำลองการทำงานการหาค่าเหมาะที่สุดการได้ยีนด้วยขั้นตอนวิธี Nelder-Mead

%This program is used for testing the Nelder-Mead Optimization concept

clear all; close all; format long; clc;

f = 8000;

fs = 3*f;

x0d = f/fs:f/fs:250;

x0dl = length(x0d);

y0d = 10*ones(1,x0dl);

x1d = 250+f/fs:f/fs:500;

y1d = 5+((15-10)/(500-251)*x1d);

x2d = 500+f/fs:f/fs:1000;

y2d = 8+((22-15)/(1000-501)*x2d);

x3d = 1000+f/fs:f/fs:2000;

y3d = 4+((40-22)/(2000-1001)*x3d);

x4d = 2000+f/fs:f/fs:4000;

y4d = 30+((50-40)/(4000-2001)*x4d);

x5d = 4000+f/fs:f/fs:8000;

y5d = 35+((65-50)/(8000-4001)*x5d);

x = [x0d x1d x2d x3d x4d x5d];

y = [y0d y1d y2d y3d y4d y5d];

y = y(250:60:fs);

```
xon = [-0.00471235619485 -0.00942477079368 0.00157047878613 0.00471238994378  
0.00625301579948 -0.000000000006106 1.50046417551953]*1e3; %nma1fs24k_c5.5098
```

```
tic;
```

```
for br = 1:3,
```

```
    TolFun = 4.0;
```

```
    MaxIter = 150;
```

```
    x0 = xon;
```

```
    [xon, fon] = opt_Nelder(y, x0, TolFun, MaxIter);
```

```
end
```

```
pt = filter_out(xon(1), xon(2), xon(3), xon(4), xon(5), xon(6), xon(7));
```

```
pt_l = length(pt);
```

```
pt = pt(1:(pt_l-1)/7750:pt_l);
```

```
nt = (250:1:8000);
```

```
pt = pt';
```

```
plot(nt, pt, 'r');
```

```
hold on;
```

```
grid on;
```

```
y = y(1:(pt_l-1)/7750:pt_l);
```

```
plot(nt, y);
```

```
axis([0 8000 0 70]);
```

```
figure(2);
```

```
plot(nt, y-pt);
```

```
grid on;
```

```
toc;
```

```

function [xo,fo] = opt_Nelder(y,x0,TolFun,k);

N = length(x0);

S = eye(N);

for i = 1:N

    i1 = i+1;

    if i1 > N

        i1 = 1;

    end;

    abc = [x0; x0+S(i,:); x0+S(i1,:)]

    a = abc(1,:)

    b = abc(2,:)

    c = abc(3,:)

    fa1 = filter_out(a(1),a(2),a(3),a(4),a(5),a(6),a(7));

    fa = max(abs(fa1-y'));

    fb1 = filter_out(b(1),b(2),b(3),b(4),b(5),b(6),b(7));

    fb = max(abs(fb1-y'));

    fc1 = filter_out(c(1),c(2),c(3),c(4),c(5),c(6),c(7));

    fc = max(abs(fc1-y'));

    fabc = [fa; fb; fc]

    [x0,fo] = Nelder2(y,abc,fabc,TolFun,k);

end;

xo=x0;

```

```

function [pt] = filter_out(x1,x2,x3,x4,GL,GB,GH)

f = 8000;

fs = 3*f;

fl = abs(sin(x1))*f;

c = cot(pi*fl/fs);

a1 = [1 2 1];

b1 = [(1.6013+1.4841*c+c^2) ((2*1.6013)-2*c^2) (1.6013-1.4841*c+c^2)];

a1 = a1/b1(1);

a1 = GL*a1;

b1 = b1/b1(1);

p1 = freqz(a1,b1,fs);

p1 = abs(p1);


fc1 = abs(sin(x2))*f;

fc2 = fc1+abs(sin(x3))*(f-fc1);

k1 = tan(pi*fc1/fs);

k2 = tan(pi*fc2/fs);

kh = k1*k2;

ch = 1/(k2-k1);

P = [1 1 1 1 1;4 2 0 -2 -4;6 0 -2 0 6;4 -2 0 2 -4;1 -1 1 -1 1];

AUX1 = [0 0 kh^2;0 kh 0;1 0 2*kh;0 1 0;0 0 1];

AUX2 = [1 0 0;0 ch 0;0 0 ch^2];

A = [1;0;0];

B = [1.6013;1.4841;1];

b2 = P*AUX1*AUX2*B;

a2 = P*AUX1*AUX2*A;

a2 = a2/b2(1);

a2 = GB*a2;

```

b2 = b2/b2(1);

p2 = freqz(a2,b2,fs);

p2 = abs(p2);

fh = abs(sin(x4))*f;

k = tan(pi*fh/fs);

a3 = [1 -2 1];

b3 = [(k^2+1.4841*k+1.6013) (2*k^2-2*1.6013) (k^2-1.4841*k+1.6013)];

a3 = a3/b3(1);

a3 = GH*a3;

b3 = b3/b3(1);

p3 = freqz(a3,b3,fs);

p3 = abs(p3);

pt = (p1+p2+p3);

pt = 20*log10(pt);

pt = pt(250:60:fs);

```

function [xo,fo] = Nelder2(y,abc,fabc,TolFun,k)

[fabc,I] = sort(fabc);

a = abc(I(1),:);

b = abc(I(2),:);

c = abc(I(3),:);

fa = fabc(1);

fb = fabc(2);

fc = fabc(3);

%if k<=0 | abs(fba)+abs(fcb)<TolFun | abs(b-a)+abs(c-b)<TolX

if k <= 0 | fa < TolFun

    xo = a;

    fo = fa;

    %if k == 0 fprintf('Just best in given # of iterations'); end;

else

    m = (a+b)/2;

    e = 3*m - 2*c;

    %fe=feval(f,e);

    fe1 = filter_out(e(1),e(2),e(3),e(4),e(5),e(6),e(7));

    fe = max(abs(fe1-y'));

    if fe < fb

        c = e;

        fc = fe;

    else

        r = (m+e)/2;

        %fr=feval(f,r);

        fr1 = filter_out(r(1),r(2),r(3),r(4),r(5),r(6),r(7));

        fr = max(abs(fr1-y'));

        if fr < fc

```

```

    c = r;

    fc = fr;

end;

if fr >= fb

    s = (c+m)/2;

    %fs=feval(f,s);

    fs1 = filter_out(s(1),s(2),s(3),s(4),s(5),s(6),s(7));

    fs = max(abs(fs1-y'));

    if fs < fc

        c = s;

        fc = fs;

    else

        b = m;

        c =(a+c)/2;

        %fb=feval(f,b);

        fb1 = filter_out(b(1),b(2),b(3),b(4),b(5),b(6),b(7));

        fb = max(abs(fb1-y'));

        %fc=feval(f,c);

        fc1 = filter_out(c(1),c(2),c(3),c(4),c(5),c(6),c(7));

        fc = max(abs(fc1-y'));

    end;

end;

end;

[xo,fo] = Nelder2(y,[a;b;c],[fa fb fc],TolFun,k-1)

end;

```

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. A Design of IIR Based Digital Hearing Aids Using Genetic Algorithm. The 8th ECTI-CON 2011 Khon Kaen University, 17 - 19 May 2011.
2. การออกแบบตัวกรองสัญญาณเชิงเลขผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
The 4th Science Research Conference, 12-13 March 2012. Faculty of Science, Naresuan University.

ภาคผนวก ค

ภาพการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. อบรมเชิงปฏิบัติการให้นักศึกษาคณะครุศาสตร์ บัณฑิตคณะครุศาสตร์ และข้าราชการครู
ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา



2. นำเสนอผลงานวิจัย The 8th ECTI-CON 2011 Khon Kaen University, 17 - 19 May 2011.



3. นำเสนอผลงานวิจัย

The 4th Science Research Conference. 12-13 March 2012. Faculty of Science, Naresuan University.



บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, เครื่องฟังเสียงคืออะไร, Online : <http://www.nstda.or.th/vdo-nstda/sci-day-techno/4624-hearing-aid> 20 กันยายน 2554
- [2] Eartone, ชนิดของเครื่องช่วยฟัง, Online: http://www.eartone.co.th/instrument_types_th.html 20 กันยายน 2554
- [3] ริชาร์ด วอลค์เกอร์ พิมพ์ จันทะ, สารานุกรมพื้นฐานของร่างกายมนุษย์, ที.เจ.เจ จำกัด, 2545
- [4] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, การได้ยิน, Online : http://www3.ipst.ac.th/research/assets/web/mahidol/nerve%287%29/3_3.htm 17 กันยายน 2554
- [5] ห้องสมุด E-Lib, เมื่อหูมีปัญหา, http://www.elib-online.com/doctors49/ent_ear001.html 27 สิงหาคม 2554
- [6] University of California San Diego School of Medicine, **Head and Neck History and Physical Examination** http://drdavidson.ucsd.edu/portals/0/cmo/CMO_01.htm#B.2b 17 กันยายน 2554
- [7] Angelus Medical & Optical Co. Inc, **Audiometer Tympanometers and Hearing Booths**, Online : <http://www.angelusmedical.com/AudiometersSpirometers.htm> 17 กันยายน 2554
- [8] Medipro, การตรวจสภาพการได้ยิน, Online : <http://www.i-medipro.com/> 17 กันยายน 2554
- [9] Barry Truax, **Handbook for Acoustic Ecology**, Online : <http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/Audiogram.html> 17 กันยายน 2554
- [10] DRE, Welch Allyn **3.5v Pneumatic Otoscope with Specula** Online : http://www.dremed.com/catalog/product_info.php/products_id/1203 17 กันยายน 2554
- [11] United State Department of Labor, Appendix I:C-1. **Conductive Hearing Loss**, Online: http://www.osha.gov/dts/osta/otm/noise/health_effects/conductive.html 17 กันยายน 2554
- [12] **Eartech Hearing Aids**, Online : <http://www.eartechinc.com/faq.html> 17 กันยายน 2554
- [13] ธนันต์ ศรีสกุล, ภมร ศิลาพันธ์, มนตรี ศิริปรัชญานันท์ การออกแบบสร้างและทดสอบวงจรกรองความถี่ แบบ **High-Order Filter (LPF)** Online: <http://www.wara.com/modules.php?name=News&file=article&sid=613>, 3 ตุลาคม 2554

- [14] Steven T. Karris, **Signal and Systems with Matlab computing and Simulink Modeling**, Orchard Publications, 2007, p. 11-2.
- [15] Emmanuel C. Ifeachor and Barrie W. Jervis, **Digital signal processing a practical approach**, Addison-Wesley publishing company, 1993, p. 251 - 255
- [16] Roman Kuc, **Introduction to digital signal processing**, McGraw-Hill international editions, 1982, p. 4
- [17] John G. Proakis , Dimitris G. Mannolakis , **Digital Signal Processing Principles, Algorithms and Applications Third Edition**, Prentice Hall International INC 1996. p. 500 - 502