บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยการครั้งนี้ผู้วิจัยได้ลำดับหัวข้อการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาข้อมูลต่างๆ ดังนี้

2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเคเบิลเส้นใยนำแสง

2.2 ข้อกำหนดคุณลักษณะสำหรับเคเบิลเส้นใยนำแสงโทรคมนาคม

2.3 รายละเอียดข้อกำหนดและเงื่อนไขการทดสอบเคเบิลเส้นใยนำแสง

2.4 การทดสอบเคเบิลเส้นใยนำแสง

2.5 การประเมินคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเคเบิลเส้นใยนำแสง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของข้อกำหนดคุณลักษณะของเคเบิลเส้นใยนำแสง โดยมาตรฐานอุตสาหกรรมฉบับนี้ครอบคลุมไปถึงเคเบิลเส้นใยนำแสงที่ใช้ในงานสื่อสารโทรคมนาคม ติดตั้งในท่อร้อยสายและชนิดฝังดินโดยตรง ข้อกำหนดคุณลักษณะของเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงติดตั้งในท่อร้อยสาย ฝังดิน และแขวนในอากาศที่กล่าวถึงในมาตรฐานอุตสาหกรรมฉบับนี้สอดคล้องกับ มอก. 2052 รายละเอียดที่กล่าวถึงข้อกำหนดเบื้องต้นของของเคเบิลเส้นใย นำแสงที่ใช้ในงานสื่อสารโทรคมนาคมชนิดติดตั้งในท่อร้อยสายและชนิดฝังดิน รายละเอียดของข้อกำหนดคุณลักษณะ จัดทำขึ้นภายใต้หลักการพื้นฐานของมาตรฐานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่จัดรวมอยู่ในกลุ่มนี้ ค่าที่กำหนดในมาตรฐานอุตสาหกรรมฉบับนี้ อาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ เนื่องจากความไม่แน่นอนในการวัด ซึ่งเป็นผลมาจากความผิดพลาดในการวัดหรือความผิดพลาดจากการสอบเทียบเนื่องจากไม่มีมาตรฐานที่เหมาะสมหลักเกณฑ์ในการยอมรับขึ้นอยู่กับการพิจารณา (ใน มอก. 2052) จำนวนของเส้นใยนำแสงที่ทดสอบ ซึ่งเป็นจำนวนที่ได้ตกลงกันไว้ระหว่างผู้ทำและผู้ใช้ถือเป็นตัวแทนในการทดสอบเคเบิลชนิดนั้นๆ

สัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

λ_{cc}	ค่าความยาวคลื่นตัดเส้นใยนำแสงในเคเบิล (cabled fiber cut-off wavelength)
d	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเคเบิล
DS	รายละเอียดของข้อกำหนดคุณลักษณะ

TO ค่าแรงดึงสูงสุดของเคเบิล ที่ไม่ทำให้เคเบิลเกิดค่าการลดทอนหรือค่าความเครียดเพิ่มขึ้น ค่านี้ได้จากการทดสอบความต้านแรงดึงของเคเบิลเส้นใยนำแสง

TM ค่าแรงดึงในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ของเคเบิลที่ไม่ทำให้สมบัติของเส้นใยนำแสงถดถอย ในขณะทดสอบความต้านแรงดึงของเคเบิลเส้นใยนำแสง

TA1 ค่าที่กำหนดในช่วงของวัฏจักรอุณหภูมิ ขณะทดสอบช่วงอุณหภูมิต่ำ ตามข้อกำหนดใน มอก. 2051 วิธี F1

TA2 ค่าที่กำหนดในช่วงของวัฏจักรอุณหภูมิ ขณะทดสอบช่วงอุณหภูมิต่ำ ตามข้อกำหนดใน มอก. 2051 วิธี F1

TB1 ค่าที่กำหนดในช่วงของวัฏจักรอุณหภูมิ ขณะทดสอบช่วงอุณหภูมิสูง ตามข้อกำหนดใน มอก. 2051 วิธี F1

TB2 ค่าที่กำหนดในช่วงของวัฏจักรอุณหภูมิ ขณะทดสอบช่วงอุณหภูมิสูง ตามข้อกำหนดใน มอก. 2051 วิธี F1

t1 ระยะเวลาของการทดสอบช่วงอุณหภูมิ

n x d ค่าที่เป็นจำนวนเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเคเบิล สำหรับใช้ในการโค้งงอและการพันเคเบิล ฯลฯ

2.2 ข้อกำหนดคุณลักษณะสำหรับเคเบิลเส้นใยนำแสงโทรคมนาคม

ชนิดติดตั้งในท่อร้อยสายและชนิดฝังดิน (รายละเอียดเบื้องต้นของข้อกำหนดคุณลักษณะ)

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดเบื้องต้นของเคเบิลเส้นใยนำแสง

คุณลักษณะ	**รายละเอียดของเคเบิล**
การสร้าง	- เส้นใยนำแสงที่เคลือบสีเดียว - ท่อบรรจุวัสดุกันน้ำ - ท่อไม่บรรจุวัสดุกันน้ำ - แกนที่มีร่องบรรจุวัสดุกันน้ำ - แกนที่มีร่องไม่บรรจุวัสดุกันน้ำ - การเคลือบแน่นครั้งที่สอง - แถบในแกนที่มีร่อง - แถบในท่อ - ท่อในท่อ - แกนกลางรับแรงดึงที่เป็นโลหะ

คุณลักษณะ	**รายละเอียดของเคเบิล**
	- แกนกลางรับแรงดึงที่ไม่ใช่โลหะ - วัสดุกันน้ำแบบเจลลีที่ใช้เติมในแกน - วัสดุกันน้ำแบบสารดูดความชื้นที่ใช้เติมในแกน
การจัดวางส่วนประกอบ	- การตีเกลียว (แบบทิศทางเดียวหรือแบบ SZ) - กลุ่มเดี่ยว - แบบผสม
ตัวนำทองแดงที่หุ้มฉนวน	-
เปลือกใน	-
ส่วนรับแรงดึงที่อยู่โดยรอบ	- โลหะ - อโลหะ
แนวป้องกันความชื้น	- แถบอะลูมิเนียมเคลือบด้านเดียว - แถบอะลูมิเนียมเคลือบสองด้าน - แถบเหล็กเคลือบสองด้าน - ท่อเหล็กไม่มีตะเข็บ
เปลือกนอก	-
เกราะเสริม	- เกราะชนิดโลหะ - เกราะชนิดอโลหะ
เปลือกนอกเสริม	-
การระบุเครื่องหมาย	- ข้อกำหนดของลูกค้า - เครื่องหมายของผู้ทำ

ตารางที่ 2.2 การทดสอบเรื่องการติดตั้งและเงื่อนไขการใช้งาน

ลักษณะเฉพาะ (9)	ข้อใน มอก. 2052 (10)	ข้อกำหนด (11)	วิธีการทดสอบ (12)	หมายเหตุ (13)
ข้อกำหนดทั่วไป	8.1	การยอมรับระหว่างผู้ใช้และผู้ทำ		
การทดสอบการโค้งงอ	8.2.1.2	ตาม DS	มอก. 2051 วิธี G1	
การคดงอของท่อ	8.2.2.1	ตาม DS	มอก. 2051 วิธี G7	
แถบ :				
- ขนาด	8.2.3.1	มอก. 2052 ตารางที่ 1	มอก. 2052 ข้อ 8.2.3.1	
- การแยกเส้นใยนำแสง	8.2.3.2.1	มอก. 2052 ข้อ	มอก. 2051 วิธี G5	

ลักษณะเฉพาะ (9)	ข้อใน มอก. 2052 (10)	ข้อกำหนด (11)	วิธีการทดสอบ (12)	หมายเหตุ (13)
ออกจากแถบ		8.2.3.2.1 หรือ ตาม DS	หรือ ตาม DS	
- การปอกแถบ	8.2.3.2.2	ตาม DS		
- การบิดตามยาว	8.2.3.2.3	ตาม DS	มอก. 2051 วิธี G6	

ตารางที่ 2.3 การทดสอบเรื่องการทดสอบทางกลและการทดสอบภายใต้สภาวะแวดล้อม

ลักษณะเฉพาะ (9)	ข้อใน มอก. 2052 (10)	ข้อกำหนด (11)	วิธีการทดสอบ (12)	หมายเหตุ (13)
แรงดึงที่กระทำกับเคเบิล	9.1	ดูข้อ 3.2.1 และตาม DS	มอก. 2051 วิธีE1A และ E1B	ดูข้อ 3.2.1
ความสามารถที่รองรับได้ในการติดตั้ง (คัดเลือกจากสิ่งต่อไปนี้)	9.2			
- การโค้งงอภายใต้แรงดึง - การโค้งงอซ้ำ - การกระแทก - การคดงอ - การบิดตามแนวเคเบิล	9.2.1 9.2.2 9.2.3 9.2.4 9.2.5	ตามมอก. 2052 ดูข้อ 3.2.2 ดูข้อ 3.2.3 ตาม DS ดูข้อ 3.2.4	มอก. 2051 วิธีE18 มอก. 2051 วิธี E6 มอก. 2051 วิธี E4 มอก. 2051 วิธี E10 มอก. 2051 วิธี E7	
การโค้งงอของเคเบิล	9.3	ตาม DS	มอก. 2051 วิธี E11	ดูข้อ 3.2.5
การกดเคเบิล	9.4	ตาม DS	มอก. 2051 วิธี E3	ดูข้อ 3.2.6
วัฏจักรอุณหภูมิ	9.5	ตาม DS	มอก. 2051 วิธี F1	ดูข้อ 3.2.7
การเร่งอายุ - ความคงทนของการยึดเกาะของชั้นเคลือบ - เคเบิลสำเร็จรูป	9.6 9.6.1 9.6.2	ตาม DS	มอก. 2051 วิธี E5	
การซึมผ่านของน้ำ	9.7	ตาม DS	มอก. 2051 วิธี F5B	
การทนต่อแรงอัดอากาศ (สำหรับเคเบิลที่ไม่ได้ใส่ตัวเติมป้องกันแรงอัด)	9.8	ตาม DS	มอก. 2051 วิธี F8	

ลักษณะเฉพาะ (9)	ข้อใน มอก. 2052 (10)	ข้อกำหนด (11)	วิธีการทดสอบ (12)	หมายเหตุ (13)
การทนทานต่อสภาวะฟ้าผ่า (สำหรับเคเบิล ที่มีส่วนประกอบของโลหะ)	9.9	ตาม DS		

2.3 รายละเอียดข้อกำหนดและเงื่อนไขการทดสอบเคเบิลเส้นใยนำแสง

หากมีข้อความปรากฏให้เห็นว่า “ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการลดทอนสัญญาณ” (no change in attenuation) ให้หมายความว่า ไม่ต้องสนใจค่าการลดทอนสัญญาณที่วัดได้ หากค่าที่ได้มีความแตกต่างไปจากเดิมไม่ว่าจะเป็นค่าบวกหรือค่าลบ เนื่องมาจากความไม่เที่ยงตรงในการวัด

2.3.1 สมรรถนะต่อแรงดึง

2.3.1.1 ข้อกำหนดค่าความเครียด (strain) ของเส้นใยนำแสงภายใต้สภาวะแรงดึงที่กำหนด ต้องมีค่าไม่เกินหนึ่งในสามของค่าที่กำหนดในการทดสอบการยืด การพิจารณาหาค่าของ *T*O และ *T*M อาจใช้ มอก. 2051 วิธี E1B ข้อพิจารณาอื่นเพิ่มเติม ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ใช้และผู้ทำต้องไม่ทำให้เปลือกนอกเคเบิลหรือส่วนประกอบภายในเกิดชำรุดเสียหาย เมื่อตรวจสอบด้วยตาโดยไม่ใช้แว่นขยาย

2.3.1.2 เงื่อนไขการทดสอบ

ความยาวของเคเบิลภายใต้แรงดึง: ในกรณีที่มีการคำนึงถึงความแม่นในการวัดและผลกระทบที่ปลายเคเบิล ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 50 เมตร อย่างไรก็ตาม อาจใช้ค่าความยาวที่สั้นกว่านี้ได้ ทั้งนี้ต้องเป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ใช้และผู้ทำ

ความยาวของเส้นใยนำแสง: ความยาวของเคเบิลสำเร็จรูป

แรงดึงเคเบิล: แรงดึงสูงสุดที่กระทำกับเคเบิล แรงกระทำอื่นอาจมีขึ้นได้ขึ้นอยู่กับสภาวะการใช้งานในบางกรณี

เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกรอกทดสอบ: 1 เมตร แต่ไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางความโค้งต่ำสุดของเคเบิล

2.3.2 การโค้งงอซ้ำ

2.3.2.1 ข้อกำหนดภายใต้สภาวะการตรวจพินิจด้วยตาโดยไม่ใช้แว่นขยาย ต้องไม่ทำให้เปลือกนอกเคเบิลหรือส่วนประกอบภายในเกิดชำรุดเสียหาย

2.3.2.2 เงื่อนไขการทดสอบ

รัศมีความโค้ง : 20 d

แรงกระทำ: แรงกระทำต้องมีค่าเพียงพอที่จะให้ชิ้นงานสัมผัสกับผิวโค้งอย่างสม่ำเสมอ

จำนวนรอบ: 25 รอบ สำหรับสภาวะการใช้งานในบางกรณี อาจเปลี่ยนแปลง จำนวนรอบได้

ระยะเวลาในการโค้งงอต่อรอบ : ประมาณ 2 วินาที

2.3.3 การกระแทก

2.3.3.1 ข้อกำหนดภายใต้สภาวะการตรวจสอบด้วยตาโดยไม่ใช้แว่นขยาย ต้องไม่ทำให้เปลือกนอกเคเบิลหรือส่วนประกอบภายในเกิดชำรุดเสียหาย ผิวเปลือกนอกที่มีรอยกระแทกไม่ถือเป็นการชำรุด การเพิ่มขึ้นของค่าการลดทอนสัญญาณที่ความยาวคลื่น 1,550 นาโนเมตร ต้องมีค่าไม่เกิน 0.1 เดซิเบล

2.3.3.2 เงื่อนไขการทดสอบ

รัศมีกระแทก : 10 มิลลิเมตร หรือ 300 มิลลิเมตร

พลังงานกระแทก: 3 จูล สำหรับผิวตัวกระแทกที่มีรัศมี 10 มิลลิเมตรหรือ 10 จูล สำหรับผิวตัวกระแทกที่มีรัศมี 300 มิลลิเมตร

เคเบิลที่มีเกราะ: 10 จูล สำหรับผิวตัวกระแทกที่มีรัศมี 10 มิลลิเมตรหรือ 20 จูล ถึง 30 จูล สำหรับผิวตัวกระแทกที่มีรัศมี 300 มิลลิเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะการใช้งาน

จำนวนครั้งในการกระแทก: หนึ่งครั้งแต่ละจุด ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 3 จุด และมีระยะห่างระหว่างกันไม่น้อยกว่า 500 มิลลิเมตร

2.3.4 การบิด

2.3.4.1 ข้อกำหนดภายใต้สภาวะการตรวจสอบด้วยตาโดยไม่ใช้แว่นขยาย ต้องไม่ทำให้เปลือกนอกเคเบิลหรือส่วนประกอบภายในเกิดชำรุดเสียหาย การเปลี่ยนแปลงลดทอนสัญญาณของเส้นใยนำแสงแต่ละเส้นต้องมีค่าไม่เกิน 0.1 เดซิเบล ที่ความยาวคลื่น 1,550 นาโนเมตร หรือที่ค่าความยาวคลื่นอื่นตามที่ผู้ใช้กำหนดภายหลังการทดสอบ ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงการลดทอนสัญญาณอย่างถาวร

2.3.4.2 เงื่อนไขการทดสอบ

รัศมีตัวกระแทก : 2 เมตร

การบิด: บิดไปทางซ้ายและบิดไปทางขวาทีละครั้ง โดยแต่ละครั้งให้บิดเคเบิลที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 2 เมตร ไป ครึ่งรอบ (180 องศา)

วัฏจักรของการทดสอบ: 5 รอบ

2.3.5 การโค้งงอเคเบิล

2.3.5.1 ข้อกำหนดขณะทดสอบที่ความยาวคลื่น 1,550 นาโนเมตร หรือที่ความยาวคลื่นอื่น ตามที่ผู้ใช้กำหนดที่อุณหภูมิห้อง ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าการลดทอนสัญญาณ ในกรณีที่มีการตกลงให้ทดสอบที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของค่าการลดทอนสัญญาณต้อง มีค่า ≤ 0.1 เดซิเบล

2.3.5.1 เงื่อนไขการทดสอบ

เส้นผ่านศูนย์กลางแมนเดรล:	≤ 20 d สำหรับเคเบิลที่มีเกราะเป็นโลหะ และ/หรืออโลหะ เส้นผ่านศูนย์กลางความโค้งจะอยู่ในช่วง ระหว่าง 20 d ถึง 80 d
จำนวนรอบหรือการตีเกลียว:	4 รอบ
วัฏจักรของการทดสอบ:	3 รอบ

2.3.6 การกด

2.3.6.1 ข้อกำหนดภายใต้แรงกดที่ความยาวคลื่น 1,550 นาโนเมตร หรือที่ความยาวคลื่นอื่นตามที่ผู้ใช้กำหนดต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าการลดทอนสัญญาณ (ดูข้อ 1. ขอบข่ายที่สัมพันธ์กับความไม่แน่นอนในการวัด) ภายใต้สภาวะการตรวจพินิจ ต้องไม่ทำให้เปลือกนอกเคเบิลหรือส่วนประกอบภายในเกิดชำรุดเสียหายผิวเปลือกนอกที่มีรอยกดเกิดจากวัสดุทดสอบไม่ถือเป็นการชำรุด

2.3.6.2 เงื่อนไขการทดสอบ

แรงกด (แผ่นกับแผ่น):	แรงกด เคเบิลไม่มีเกราะในช่วงระหว่าง 1.5 กิโลนิวตัน ถึง 3 กิโลนิวตัน ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ สำหรับสภาวะการใช้งานในบางกรณีสามารถกำหนดแรงกดที่แตกต่างไปจากนี้ ได้สำหรับเคเบิลที่มีเกราะให้ใช้แรงกดในช่วงระหว่าง 3 กิโลนิวตัน ถึง 10 กิโลนิวตัน ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้
และ/หรือแรงกด (แมนเดรลกับแผ่น):	สำหรับเคเบิลที่ไม่มีเกราะให้ใช้แรงกด 1 กิโลนิวตันหรือค่าอื่นตามสภาวะการใช้งานในบางกรณีสำหรับเคเบิลที่มีเกราะให้ใช้แรงกด 2 กิโลนิวตัน หรือค่าอื่นตามสภาวะการใช้งานในบางกรณี
ระยะเวลาในการกด:	1 นาที ถึง 15 นาที ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของผู้ใช้

2.3.7 วัฏจักรอุณหภูมิ

2.3.6.1 ข้อกำหนดในช่วงอุณหภูมิ TA1 ถึง TB1 ที่ความยาวคลื่น 1,550 นาโนเมตร หรือที่ความยาวคลื่นอื่นตามที่ผู้ใช้กำหนด ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าการลดทอนสัญญาณในช่วงอุณหภูมิ TA1 ถึง TA2 และ TB1 ถึง TB2 การเปลี่ยนแปลงค่าการลดทอนสัญญาณจะมีค่าไม่เกิน 0.15 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ภายหลังการทดสอบเสร็จสิ้นจะต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงการลดทอนสัญญาณ การทดสอบต้องกระทำที่ความยาวคลื่น 1,550 นาโนเมตรหรือที่ค่าความยาวคลื่นอื่นตามที่ผู้ใช้กำหนด

2.3.6.2 เงื่อนไขการทดสอบ

ความยาวของสายทดสอบ:	ไม่น้อยกว่า 1,000 เมตร สำหรับเคเบิลสำเร็จรูป
อุณหภูมิสูง TB2:	+60 องศาเซลเซียส ถึง+70 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้
อุณหภูมิสูง TB1:	+30 องศาเซลเซียส ถึง+60 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้
อุณหภูมิต่ำ TA1:	-10 องศาเซลเซียส ถึง -15 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับความต้องการ ของผู้ใช้
อุณหภูมิต่ำ TA2:	TA1 ถึง -45 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้
อัตราการให้ความร้อน:	เปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้น
t1:	ระยะเวลา 16 ชั่วโมงทุกช่วงอุณหภูมิ
วัฏจักรของการทดสอบ:	2 รอบ แต่สามารถกำหนดเป็นอย่างอื่นได้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของผู้ใช้

2.4 การทดสอบเคเบิลเส้นใยนำแสง

วิธีทดสอบในมาตรฐานนี้ เป็นการทดสอบทางกลและการทดสอบภายใต้สภาวะแวดล้อมสำหรับเคเบิลเส้นใยนำแสงและส่วนต่าง ๆ ของเคเบิล หัวข้อทดสอบบางรายการกำลังอยู่ในระหว่างการพิจารณาเนื่องจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ เป็นฉบับแก้ไขปรับปรุง หัวข้อทดสอบบางรายการอาจถูกทดแทนด้วยการทดสอบอื่นหรือได้รับการพิจารณาไม่ให้นำมาใช้ ดังนั้นจึงมีหัวข้อทดสอบบางรายการขาดหายไป ซึ่งได้แก่วิธี E9, E16, F2 และ F4

2.4.1 วิธี E1: สมรรถนะต่อแรงดึง

2.4.1.1 วัตถุประสงค์วิธีการทดสอบนี้ เป็นวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (non-destructive) เพื่อทดสอบความทนทานต่อแรงดึงของเคเบิลเส้นใยนำแสง โดยการพิจารณาคุณสมบัติการลดทอนสัญญาณ (attenuation) และ/หรือ ค่าความเครียดของเส้นใยนำแสง (Fiber elongation

strain) ภายใต้แรงกระทำซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการติดตั้ง (แรงที่ใช้ทดสอบควรมีค่าอยู่ในช่วงของการใช้งาน) การทดสอบมี 2 วิธี คือ

- วิธี E1A : วัดการเปลี่ยนแปลงของค่าการลดทอนสัญญาณ
- วิธี E1B : วัดค่าความเครียดของเส้นใยนำแสง

ข้อมูลที่ได้จากวิธี E1B มีทั้งในส่วนของแรงดึงสูงสุดที่ยอมได้ในการติดตั้ง และค่าความเครียดของเคเบิลการทดสอบสามารถเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่ง หรือทั้งสองวิธีร่วมกัน โดยมีรายละเอียดเป็นไปตามข้อกำหนด หรือ ตามข้อตกลงระหว่างผู้ใช้และผู้ทำ

2.4.1.2 ตัวอย่างทดสอบเคเบิลที่ใช้ทดสอบได้มาจากการดึงสายเคเบิลออกมาจากล้อ ทั้งนี้ความยาวเคเบิลที่ใช้ทดสอบต้องเหมาะสมต่อความต้องการในการทดสอบ และมีการจัดเตรียมส่วนปลายของเส้นใยนำแสงสำหรับการทดสอบ

2.4.1.3 อุปกรณ์ ประกอบด้วย

1) เครื่องมือวัดการลดทอนสัญญาณสำหรับวัดความเปลี่ยนแปลงของค่าการลดทอนสัญญาณ(ตาม IEC 60793-1-40) สำหรับวิธี E1A และ / หรือ

2) เครื่องมือวัดความเครียดของเส้นใยนำแสง (ตาม IEC 60793-1-22 วิธี C: วิธีวัดความเครียดของเส้นใยนำแสง) สำหรับวิธี E1B

3) เครื่องมือวัดแรงดึงซึ่งสามารถทดสอบในช่วงความยาวน้อยๆ ได้

4) โหลดที่นำมาใช้วัดแรงดึง (หน่วยรับรู้แรง) ต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน +/- 3% ในช่วงค่าสูงสุด

5) อุปกรณ์จับยึด : ควรเลือกใช้ตามวิธีการที่กำหนดในการจับยึดส่วนประกอบของเคเบิลเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อการทดสอบ

3) ในบางกรณี อาจต้องจัดหาอุปกรณ์ทางกลและทางไฟฟ้าสำหรับการวัดค่าการยืดของเคเบิลเพิ่มเติม

2.4.1.4 วิธีทดสอบ

1) กรณีที่ไม่มีการระบุเป็นพิเศษ ให้ทดสอบเคเบิลภายใต้สภาวะแวดล้อมปรกติ

2) ขึงเคเบิลด้วยอุปกรณ์จับยึดปลายทั้งสองที่มีลักษณะเดียวกันให้แน่น การเลือกตำแหน่งจับยึดต้องสอดคล้องกับโครงสร้างของตัวอย่างทดสอบ (เช่น สายเคเบิลแบบตีเกลียว ควรจับยึดที่เปลือกหุ้มของเคเบิล ไม่ควรจับยึดเส้นใยนำแสง) ความยาวของตัวอย่างทดสอบต้องมีค่าเพียงพอต่อการวัดการเปลี่ยนแปลงค่าการลดทอนสัญญาณ และ/หรือ เพียงพอต่อการวัดค่าแรงดึงสูงสุดที่ใช้ดึงและค่าความเครียดของเคเบิล อย่างไรก็ตาม ในกรณีของเคเบิลบางชนิด เช่น สายเคเบิลแบบมีท่อเดี่ยว จำเป็นต้องป้องกันการลื่นไหลของเส้นใยนำแสงภายในท่อเดี่ยวด้วย

หมายเหตุ ถ้ามีการระบุข้อกำหนดเป็นพิเศษสำหรับเคเบิลประเภทแขวนในอากาศ การจับยึดเคเบิลต้องมีที่ยึดเป็นแบบเฉพาะขึ้นอยู่กับชนิดของเคเบิลนั้นๆ กรณีของเคเบิลที่มีเกราะ อุปกรณ์จับยึดต้องมีช่องสำหรับจับยึดให้แน่นเช่นกัน

3) เชื่อมต่อเส้นใยนำแสงของตัวอย่างทดสอบแรงดึงเข้ากับอุปกรณ์วัด สำหรับวิธีทดสอบ E1B เมื่อใช้วิธีทดสอบการยืดของเส้นใยนำแสงด้วยการวัดค่าการหน่วงเวลาของสัญญาณพัลส์ (Different pulse delay) ตาม IEC 60793-1-22 วิธี C ต้องใช้ความระมัดระวังขณะดึงตัวอย่างทดสอบ ไม่ให้ความยาวอ้างอิงเริ่มต้นที่ทดสอบเปลี่ยนแปลง

4) แรงที่ใช้ดึงต้องเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามที่ระบุไว้ในรายละเอียดข้อกำหนด

5) บันทึกค่าการลดทอนสัญญาณ และ/หรือ ค่าความเครียดของเส้นใยนำแสง ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าของแรงดึงหรือค่าการยืดตัวของเคเบิล

6) สำหรับเคเบิลที่มีเส้นใยนำแสงจำนวนมาก สามารถใช้อุปกรณ์วัดค่าการลดทอนสัญญาณ และ/หรือ วัดค่าความเครียดของเส้นใยนำแสงหลายอุปกรณ์พร้อมกันได้

7) จำนวนเส้นใยนำแสง และ/หรือ จำนวนรอบที่ทดสอบ (โดยปรกติ 1 รอบ) ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ทำกับผู้ใช้

2.4.1.5 ข้อกำหนดค่าการลดทอนสัญญาณ และ/หรือ ค่าความเครียดของเส้นใยนำแสงต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในรายละเอียดของข้อกำหนดสำหรับวิธี E1B :

ในกรณีที่มีข้อกำหนดเพิ่มเติม การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดกับแรงดึง ต้องแสดงค่าการยืดที่เหลือหลังจากหยุดให้แรง มาทำการประเมินผลด้วย ข้อมูลผลการทดสอบต้องแสดงเส้นกราฟเปรียบเทียบระหว่าง ปัจจัยที่ทำให้การวัดคลาดเคลื่อนหรือ การหน่วงเวลาของของสัญญาณพัลส์ กับ ค่าการยืดของเส้นใยนำแสง ตัวอย่างความสัมพันธ์ของเคเบิลกับค่าการยืดของเส้นใยนำแสงแสดงดังรูปที่ 3 ในบางกรณีที่มีการกำหนด ให้ระบุค่าแรงกระทำ ณ จุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดค่าความเครียดของเส้นใยนำแสงด้วย โดยการลากเส้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดของเส้นใยนำแสงกับแรงที่กระทำ จนเกิดจุดตัดกันที่แกนของแรงกระทำ

หมายเหตุ สำหรับการทดสอบครั้งแรก ความยาวของเส้นใยนำแสงที่ใช้ทดสอบการยืดของเส้นใยนำแสงให้ใช้ค่าเท่ากับความยาวของเคเบิลที่ทดสอบการดึง อย่างไรก็ตาม การคำนวณค่าการยืดของเส้นใยนำแสงต้องพิจารณาค่าความยาวที่แน่นอนของเคเบิลและความยาวเผื่อ (excess length) ของเส้นใยนำแสง (ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบเคเบิล) ในเคเบิลด้วย

2.4.1.6 เงื่อนไขการทดสอบ รายละเอียดซึ่งต้องระบุประกอบด้วย

1) ความยาวของเคเบิล และ ความยาวภายใต้แรงดึง

2) การจัดเตรียมส่วนปลายของตัวอย่างทดสอบ

3) โหลดที่นำมาสร้างแรงดึง และ หน่วยรับรู้แรง

4) อุปกรณ์สำหรับป้อนแสงวัดค่าการลดทอนสัญญาณ

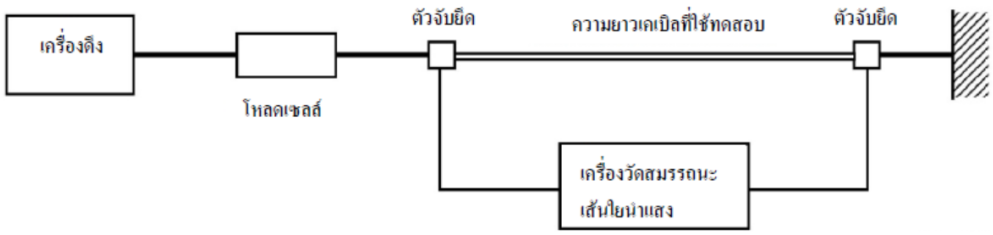
5) อุปกรณ์วัดค่าความเครียดของเส้นใยนำแสง ในกรณีที่มีการกำหนด

6) การเปลี่ยนแปลงค่าการลดทอนสัญญาณ และ/หรือ ค่าความเครียดของเส้นใยนำแสง ภายใต้ความยาวคลื่นแสงที่กำหนด ตามฟังก์ชันของแรงดึงที่ทดสอบ

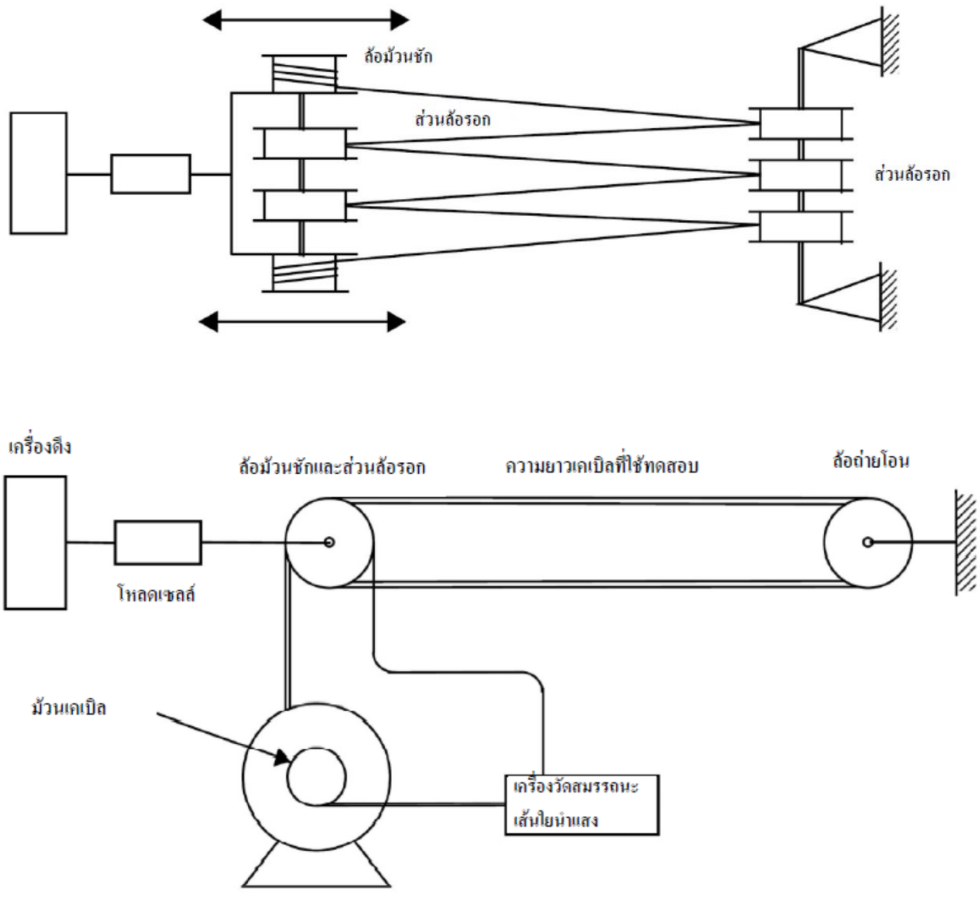
7) อัตราการเพิ่มของแรงดึง

8) ค่าความถูกต้องของการวัดความยาวเคเบิล ในกรณีที่มีการกำหนด

9) อุณหภูมิ ในกรณีที่แตกต่างจากสภาวะแวดล้อมปรกติ



ภาพที่ 2.1 อุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะการดึง



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบทดสอบสมรรถนะการดึงด้วยวิธีชักรอก

2.4.2 วิธี E2: การขูดขีด (Abrasion)

2.4.2.1 วิธี E2A: การทนต่อการขูดขีดของเปลือกหุ้มเคเบิลเส้นใยนำแสง

1.1 วัตถุประสงค์ การทนต่อการขูดขีดมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณา 2 ลักษณะ ดังนี้

1) ความสามารถในการทนต่อการสึกจากการขูดขีดเปลือกหุ้มเคเบิล

2) ความสามารถในการทนต่อการสึกจากการขูดขีดของรายละเอียดการพิมพ์บนเปลือกหุ้มเคเบิลวัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อพิจารณาความสามารถในการทนต่อการขูดขีดของเปลือกหุ้มเคเบิล ส่วนการทดสอบการสึกของรายละเอียดการพิมพ์บนเปลือกหุ้มเคเบิลแสดงไว้ในวิธี E2B

1.2 ตัวอย่างทดสอบตัวอย่างทดสอบต้องมีความยาวเพียงพอต่อการทดสอบ โดยทั่วไปความยาวของตัวอย่างทดสอบมีค่าประมาณ 750 มิลลิเมตร

1.3 อุปกรณ์การทดสอบความทนทานต่อการขูดขีดประกอบด้วย อุปกรณ์สำหรับขูดขีดผิวเคเบิลในลักษณะกลับไปมาตามแนวความยาวของเคเบิล ช่วงระยะที่ทำการขูดขีดคือ 10 มิลลิเมตร ± 1 มิลลิเมตร ที่ความถี่ 55 รอบต่อนาที ± 5 รอบต่อนาที โดยแต่ละรอบหมายถึงการขูดขีดไปและกลับในหนึ่งช่วงเข็มที่ใช้ในการขูดขีดเป็นเข็มเหล็กมีขนาดตามรายละเอียดที่ได้ระบุไว้ ตัวอย่างอุปกรณ์แสดงไว้ในรูปที่ 4

1.4 วิธีทดสอบ

1) สภาวะที่ทดสอบอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมปกติ เว้นแต่มีการกำหนดเป็นอื่น

2) จับยึดตัวอย่างทดสอบในช่วงความยาวประมาณ 750 มิลลิเมตร บนแผ่นรองรับด้วยความระมัดระวัง ติดตั้งเข็มกดด้วยแรงกระทำตามที่กำหนด ขณะขูดขีดให้หลีกเลี่ยงการกระตุกของตัวอย่างทดสอบทำการทดสอบ 4 ครั้ง บนแต่ละตัวอย่างทดสอบ โดยแต่ละจุดที่ทดสอบห่างกันประมาณ 100 มิลลิเมตร และทำมุม 90 องศา กับจุดทดสอบก่อนหน้า ทั้งนี้การหมุนเคเบิลเพื่อกำหนดจุดทดสอบถัดไปต้องหมุนไปในทิศทางเดียวกัน

1.5 ข้อกำหนดภายหลังทำการทดสอบ ด้วยจำนวนรอบของการทดสอบตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด เปลือกหุ้มเคเบิลต้องไม่มีรูเกิดขึ้น อีกทั้งคุณสมบัติการนำแสงยังคงเดิม

1.6 เงื่อนไขการทดสอบ รายละเอียดซึ่งต้องระบุประกอบด้วย

1) จำนวนรอบ

2) ขนาดของเข็ม (วิธี 1)

3) แรงที่กระทำ

2.4.2.2 วิธี E2B: ความทนทานต่อการขูดขีดของรายละเอียดการพิมพ์บนเปลือกหุ้มเคเบิลเส้นใยนำแสง

2.1 วัตถุประสงค์ ความทนทานต่อการขูดขีดมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณา 2 ลักษณะ ดังนี้

1) ความสามารถในการทนต่อการสึกจากการขูดขีดของเปลือกหุ้มเคเบิล

2) ความสามารถในการทนต่อการสึกจากการขูดขีดของรายละเอียดการพิมพ์บนเปลือกหุ้มเคเบิล

วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อพิจารณาความสามารถในการทนต่อการสึกจากการขูดขีดของรายละเอียดการพิมพ์บนเปลือกหุ้มเคเบิลเส้นใยนำแสง ส่วนการทดสอบการสึกของเปลือกหุ้มเคเบิล แสดงไว้ในวิธี E2A การทดสอบขึ้นอยู่กับการพิมพ์รายละเอียดบนเปลือกหุ้มเคเบิล ซึ่งแบ่งเป็น 2 วิธี ดังนี้

• วิธี 1 เหมาะสำหรับการพิมพ์ที่เป็นรอยแข็ง เช่น เป็นลายนูน เป็นรอย และ การเคลือบติด

• วิธี 2 เหมาะสำหรับการพิมพ์ที่นอกเหนือจากวิธีพิมพ์ที่เป็นลายนูน เป็นรอย และการเคลือบติด

2.2 ตัวอย่างทดสอบ ต้องมีความยาวเพียงพอต่อการทดสอบ โดยทั่วไปความยาวของตัวอย่างทดสอบมีค่าประมาณ 750 มิลลิเมตร

2.3 อุปกรณ์

2.3.1 วิธี 1 การทดสอบความทนทานต่อการขูดขีดประกอบด้วย อุปกรณ์สำหรับขูดขีดผิวเคเบิลในลักษณะกลับไปมาตามแนวความยาวของเคเบิล ช่วงระยะที่ทำการขูดขีดคือ 40 มิลลิเมตร ที่ความถี่ 55 รอบต่อนาที ± 5 รอบต่อนาที โดยแต่ละรอบหมายถึงการขูดขีดไปและกลับในหนึ่งช่วงเข็มที่ใช้ในการขูดขีดเป็นเข็มเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลิเมตร หรือ ตามรายละเอียดที่ได้ระบุไว้

2.3.2 วิธี 2 อุปกรณ์ประกอบด้วย

1) ชุดทดสอบสำหรับรับแรงกระทำบนผ้าสักหลาด

2) ผ้าสักหลาดสีขาว

3) ตุ้มน้ำหนักเพื่อให้แรงกระทำที่ตัวอย่างทดสอบ

2.4 วิธีทดสอบ สภาวะที่ทำการทดสอบอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมปรกติ เว้นแต่มีการกำหนดเป็นอื่น

2.4.1 วิธี 1 จับยึดตัวอย่างทดสอบในช่วงความยาวประมาณ 750 มิลลิเมตร บนแผ่นรองรับด้วยความระมัดระวัง โดยตำแหน่งของรายละเอียดการพิมพ์ของตัวอย่างทดสอบต้องอยู่ในช่วงการการเคลื่อนที่ของเข็มกด ติดตั้งเข็มกดด้วยแรงกระทำตามที่กำหนด ขณะขูดขีดให้หลีกเลี่ยงการกระตุกของตัวอย่างทดสอบ

2.4.2 วิธี 2 จัดวางตัวอย่างทดสอบโดยให้ตำแหน่งของรายละเอียดการพิมพ์อยู่ระหว่างผ้าสักหลาดผ้าสักหลาดที่นำมาใช้ต้องชุบน้ำให้ชุ่มถูผ้าสักหลาดกลับไปกลับมาบนรายละเอียด

การพิมพ์ เป็นช่วงระยะ 100 มิลลิเมตร โดยแรงที่กระทำขณะถู (F) และจำนวนรอบที่ถู เป็นไปตามรายละเอียดที่ระบุไว้ในข้อกำหนด

2.5 ข้อกำหนดภายหลังทำการทดสอบ ด้วยจำนวนรอบของการทดสอบตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด รายละเอียดการพิมพ์บนเปลือกหุ้มเคเบิล ต้องอยู่ในสภาพที่ยังสามารถอ่านออกได้อย่างถูกต้อง

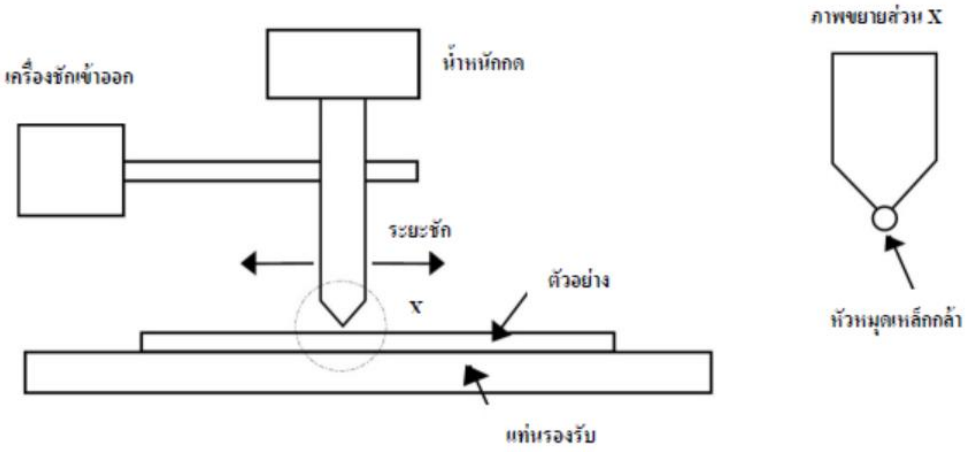
2.6 เงื่อนไขการทดสอบ รายละเอียดซึ่งต้องระบุ ประกอบด้วย

1) จำนวนรอบ

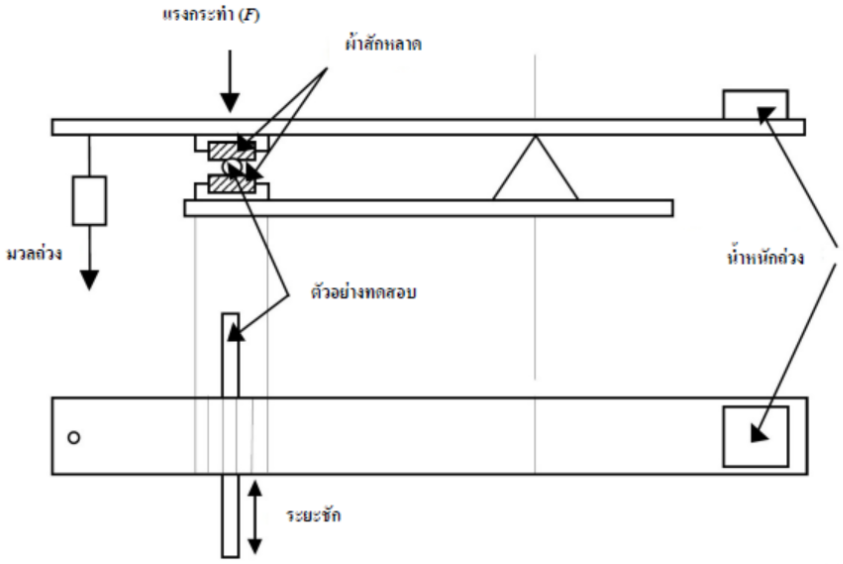
2) วิธีที่ใช้

3) ขนาดของเข็ม (วิธี 1)

4) แรงที่กระทำ



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบในหัวข้อ E2A และ E2B ในวิธี 1



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบในหัวข้อ E2B ในวิธี 2

2.4.3 วิธี E3: การบีบอัด

2.4.3.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้ เพื่อทดสอบความสามารถการทนต่อการบีบอัดหรือการกดของเคเบิลเส้นใยนำแสง

2.4.3.2 ตัวอย่างทดสอบเคเบิลที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบต้องมีความยาวเพียงพอตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนด

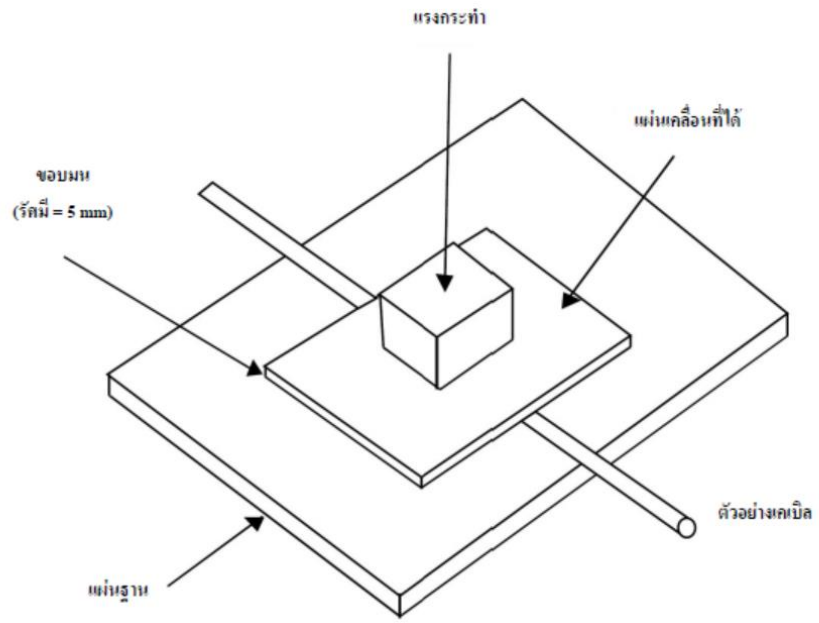
2.4.3.3 อุปกรณ์ทดสอบการบีบอัดดังแสดงไว้ในรูปที่ 6 ประกอบด้วยแผ่นเหล็กระนาบ 2 แผ่นสำหรับจัดวางตัวอย่างทดสอบแทรกไว้ แผ่นหนึ่งใช้เป็นฐานรองอยู่กับที่ อีกแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ภายใต้แรงกดที่ส่งไปยังตัวอย่างทดสอบเป็นระยะไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร สันขอบของแผ่นเหล็กที่เคลื่อนที่ได้ต้องมีลักษณะมนด้วยรัศมีประมาณ 5 มิลลิเมตร และระยะขอบต้องมากกว่าระยะกดตัวอย่างทดสอบ 100 มิลลิเมตร

2.4.3.4 วิธีทดสอบ จับยึดตัวอย่างทดสอบไว้ระหว่างแผ่นเหล็ก 2 แผ่น ออกแรงกดลงบนตัวอย่างทดสอบผ่านด้านบนของแผ่นเหล็กที่เคลื่อนที่ได้ ซึ่งแรงที่กระทำต้องมีความสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงในทันทีทันใด ถ้าแรงที่ใช้ทดสอบนั้นมีการเพิ่มขึ้นเป็นจังหวะ จังหวะการให้แรงที่เพิ่มขึ้นต้องไม่เกินในอัตราส่วน 1.5 : 1 ในกรณีที่ไม่มีการระบุเป็นอื่น ต้องทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง โดยแรงที่กระทำทั้ง 3 จุดบน ตัวอย่างทดสอบต้องห่างกันอย่างน้อย 500 มิลลิเมตร ในลักษณะที่ไม่มีการหมุนเคเบิลในกรณีที่มีการระบุเพิ่มเติมในข้อกำหนดให้เพิ่มทางเลือกในการทดสอบ อาจทำการทดสอบด้วยการสอดแท่งเหล็กจำนวนหนึ่งแท่งหรือมากกว่า (ให้ใช้แท่งเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ในกรณีที่ไม่มีระบุไว้ในข้อกำหนด) เพิ่มเข้าไปในลักษณะตั้งฉากกับตัวอย่างทดสอบสภาวะที่ทำการทดสอบอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมปรกติ เว้นแต่มีการกำหนดเป็นอื่น

2.4.3.5 ข้อกำหนด การยอมรับผลการทดสอบขึ้นอยู่กับรายละเอียดที่ระบุไว้ในข้อกำหนด โดยทั่วไปผลการทดสอบที่ถือว่าไม่ผ่าน หมายถึงกรณีที่พบว่าเส้นใยนำแสงมีค่าสูญเสียความต่อเนื่องทางแสง ความสามารถในการสื่อสัญญาณแสงลดลง หรือเคเบิลเกิดความเสียหายทางกายภาพ

2.4.3.6 เงื่อนไขการทดสอบ รายละเอียดซึ่งต้องระบุ ประกอบด้วย

1) แรงที่กระทำทั้งหมด
2) ช่วงเวลาที่ให้แรงกระทำ
3) จำนวนครั้งการทดสอบ
4) ระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่ทดสอบ
5) รูปร่างลักษณะของแท่งเหล็ก (สำหรับกรณีที่ใช้)



ภาพที่ 2.5 การทดสอบการบีบอัด

2.4.4 วิธี E4: การกระแทก

2.4.4.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้ เพื่อพิจารณาความสามารถในการทนต่อการกระแทกของเคเบิลเส้นใยนำแสง

2.4.4.2 ตัวอย่างทดสอบ

1) ความยาวของตัวอย่างทดสอบ ต้องเพียงพอต่อการทดสอบ ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์เฉพาะความเสียหายทางกายภาพ ตัวอย่างทดสอบควรมีความยาว 1 เมตร (สำหรับเคเบิลทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก เช่นสายที่ใช้เพื่อการเชื่อมต่อต่าง ๆ) ถึง 5 เมตร (สำหรับเคเบิลทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่) ทั้งนี้ สามารถเพิ่มความยาวของตัวอย่างทดสอบให้มากขึ้นได้เพื่อการวัดค่าทางแสง

2) การจับยึดปลาย จับยึดปลายสายทั้งสองของตัวอย่างทดสอบให้แน่น ทั้งนี้ส่วนของเปลือกเคเบิลและตัวรับแรงดึงต้องเสมือนถูกจับยึดเป็นส่วนเดียวกัน การยึดตัวอย่างทดสอบต้องแน่นเพียงพอและไม่เคลื่อนไหวต่อแรงกระแทกขณะทดสอบ อีกทั้งตัวอย่างทดสอบต้องมีความยาวเพียงพอไม่ให้เกิดการรั้ง

2.4.4.3 อุปกรณ์ทดสอบการกระแทก ประกอบด้วยแผ่นเหล็กเรียบสำหรับรองยึดตัวอย่างทดสอบ และอุปกรณ์สำหรับทดสอบการกระแทกเพียงครั้งเดียว หรือ สองสามครั้ง แสดงดังรูปที่ 7ก การกระแทกใช้การปล่อยตุ้มน้ำหนักให้ตกลงมากระแทกในแนวตั้งกับแผ่นเหล็ก ซึ่งจะส่งแรงกระแทกนั้นไปยังเคเบิลที่ทดสอบ ในกรณีที่การทดสอบเป็นการกระแทกหลาย ๆ ครั้ง (มากกว่า 5 ครั้ง) ให้ใช้อุปกรณ์ทดสอบแสดงดังรูปที่ 7ข ซึ่งจะมีค้อนสำหรับการกระแทกซ้ำหลายครั้ง อนึ่ง

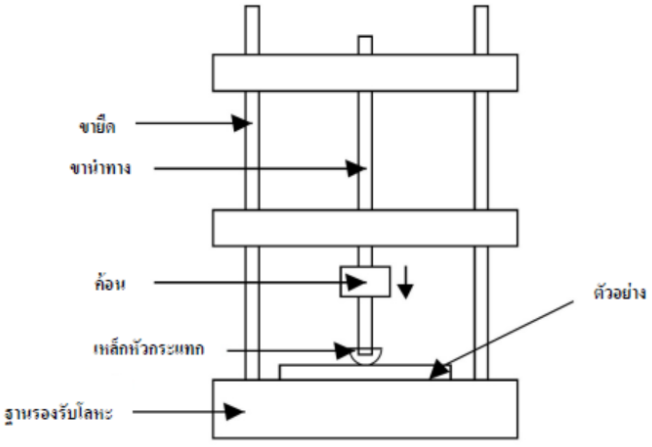
นอกเหนือจากส่วนให้แรงกระแทกแล้ว ส่วนประกอบอื่นของอุปกรณ์การทดสอบทั้งสองแบบมีลักษณะเป็นไปในทำนองเดียวกัน พื้นผิวของหัวกระแทกที่สัมผัสกับตัวอย่างทดสอบมีลักษณะเป็นรูปโค้งมน ดังรูปที่ 2.6ค, A หรือเป็นรูปทรงกระบอกกลมดังรูปที่ 2.6ค, B รัศมีความโค้ง (R) ของหัวกระแทกต้องให้เป็นไปตามข้อกำหนดอุปกรณ์อื่นที่ใช้ อาจประกอบด้วยอุปกรณ์ใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าทางแสง ตามรายละเอียดในข้อกำหนด ตาม IEC 60793-1-46 วิธี A (Transmitted power)

2.4.4.4 วิธีทดสอบ สภาวะที่ทำการทดสอบอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมปรกติ เว้นแต่มีการกำหนดเป็นอื่น ในบางกรณีที่จำเป็น อาจจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบไว้ล่วงหน้า 24 ชั่วโมง ค่าพลังงานที่ใช้กระแทกต่อตัวอย่างทดสอบ ขึ้นอยู่กับการปรับน้ำหนักของหัวค้อนและความสูงในการทิ้งหัวค้อนลงมากระแทก ซึ่งต้องกำหนดรายละเอียดไว้ในข้อกำหนด จำนวนครั้งและอัตราการกระแทก รวมถึงตำแหน่งบนตัวอย่างการทดสอบ ต้องมีการระบุไว้ในข้อกำหนดเช่นกัน

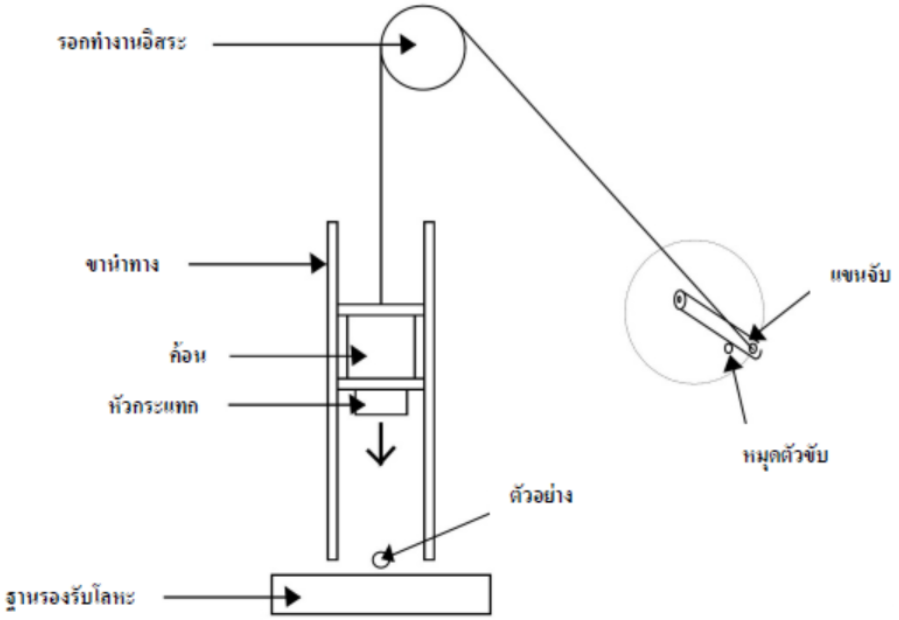
2.4.4.5 ข้อกำหนด การยอมรับผลการทดสอบขึ้นอยู่กับรายละเอียดที่ระบุไว้ในข้อกำหนด โดยทั่วไปผลการทดสอบที่ถือว่าไม่ผ่าน หมายถึงกรณีที่พบว่าเส้นใยนำแสงมีค่าสูญเสียความต่อเนื่องทางแสง ความสามารถในการสื่อสัญญาณแสงลดลง หรือเคเบิลเกิดความเสียหายทางกายภาพ

2.4.4.6 เงื่อนไขการทดสอบ รายละเอียดซึ่งต้องระบุ ประกอบด้วย

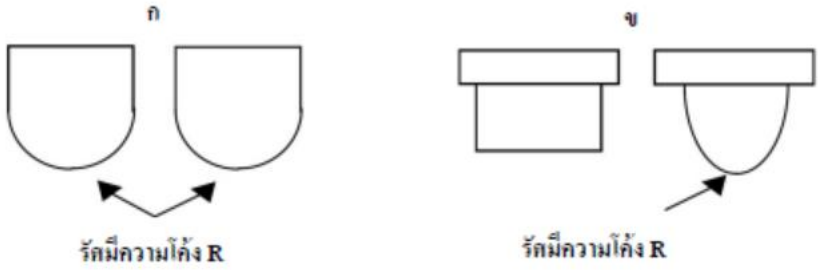
1) จำนวนครั้งที่กระแทก
2) พลังงานในการกระแทก
3) อุณหภูมิขณะทดสอบ
4) รัศมีของหัวค้อน
5) ความถี่ในการกระแทกหลาย ๆ ครั้ง (สำหรับกรณีที่ใช้)
6) ตำแหน่งที่กระแทก
7) การวัดค่าความต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงแสง



ก อุปกรณ์ให้แรงกระแทก สำหรับจำนวนครั้งน้อย



ข อุปกรณ์ให้แรงกระแทก สำหรับจำนวนครั้งมาก



ค ลักษณะของหัวกระแทก

ภาพที่ 2.6 การทดสอบกระแทก

2.4.5 วิธี E5: เสถียรภาพของแรงที่ใช้ปอกเส้นใยนำแสงในเคเบิล

2.4.5.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้ เพื่อพิจารณาเสถียรภาพของแรงที่ใช้ในการปอกเส้นใยนำแสงในเคเบิล โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงที่ใช้ในการปอกเส้นใยนำแสงที่เกิดขึ้นภายหลังการอยู่ใต้สภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่างๆ

2.4.5.2 ตัวอย่างทดสอบ

1) ความยาวของตัวอย่างทดสอบ เคเบิลหรือเส้นใยนำแสงที่ใช้ในการทดสอบ ต้องมีความยาวเพียงพอต่อการทดสอบ

2) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ ภายใต้สภาวะแวดล้อมปรกติ นำเส้นใยนำแสง (ความยาวอย่างน้อยเส้นละ 2 เมตร) ที่จะใช้ในการทดสอบออกจากเคเบิลมาจัดเตรียมตามสภาวะที่

ระบุไว้ตามเงื่อนไขก่อนการนำมาทดสอบจากนั้นจัดแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งใช้สำหรับทดสอบ อีกส่วนหนึ่งสำหรับการอ้างอิงในการวัดในการเตรียมตัวอย่างทดสอบต้องมีจำนวนมากเพียงพอต่อการทดสอบโดยควรมีจำนวนไม่น้อยกว่า 10 เส้นหรือตามที่ข้อกำหนดระบุไว้การเปรียบเทียบผลการวัดให้เทียบกับตัวอย่างในส่วนที่จัดแบ่งไว้อ้างอิงหากเส้นใยนำแสงที่ดึงออกมามีวัสดุกันน้ำติดอยู่ให้เช็ดออกอย่างนุ่มนวลด้วยกระดาษทิชชู ข้อกำหนดเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมของเคเบิลขึ้นอยู่กับการตกลงระหว่างผู้ใช้กับผู้ทำ

2.4.5.3 อุปกรณ์ประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ปรับสภาวะ (ในกรณีที่จำเป็น) และชุดอุปกรณ์สำหรับปอกเส้นใยนำแสง (ดูการทดสอบความสามารถในการปอกเส้นใยนำแสงได้ ตาม IEC 60793-1-32)

2.4.5.4 วิธีทดสอบ ติดตั้งเส้นใยนำแสงให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขสภาวะแวดล้อมและช่วงระยะเวลา ตามวิธี IEC 60793-1-32 จากนั้นวัดความสามารถในการปอกเส้นใยนำแสง เปรียบเทียบกับเส้นใยนำแสงอ้างอิงวิธีการทดสอบความสามารถในการปอกเส้นใยนำแสงนี้ สามารถใช้กับเส้นใยนำแสงที่นำออกจากเคเบิลในความยาวอ้างอิง โดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ

2.4.5.5 ข้อกำหนด ค่าความเปลี่ยนแปลงของแรงปอกต้องเป็นไปตามที่ข้อกำหนดระบุไว้

2.4.5.6 เงื่อนไขการทดสอบรายละเอียดซึ่งต้องระบุ ประกอบด้วย

1) สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขการจัดเตรียมเคเบิล

2) สภาวะของเส้นใยนำแสง

3) ช่วงเวลาภายใต้สภาวะแวดล้อม และ สภาวะและเวลาที่ใช้ในการกลับคืนสู่ปกติ

4) ค่าความเปลี่ยนแปลงของแรงปอกที่ยอมรับได้

2.4.6 วิธี E6: การโค้งงอซ้ำ

2.4.6.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อพิจารณาความสามารถในการทนต่อความโค้งงอซ้ำของเคเบิล

2.4.6.2 ตัวอย่างทดสอบ

1) ความยาวของตัวอย่างทดสอบ ความยาวของตัวอย่างต้องเพียงพอต่อการทดสอบในกรณีทำการทดสอบเฉพาะความเสียหายทางกายภาพ ตัวอย่างการทดสอบจะต้องมีความยาวอย่างน้อย 1 เมตร (สำหรับเคเบิลทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก เช่นสายที่ใช้เพื่อการเชื่อมต่อต่าง ๆ) ถึง 5 เมตร (สำหรับเคเบิลทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่) ทั้งนี้ สามารถเพิ่มความยาวของตัวอย่างทดสอบให้มากขึ้นได้เพื่อการวัดค่าทางแสง

2) การจับยึดปลายสายทั้งสองของตัวอย่างทดสอบให้แน่น ทั้งนี้ส่วนของเปลือกเคเบิลและตัวรับแรงดึงต้องเสมือนถูกจับยึดเป็นส่วนเดียวกัน การยึดตัวอย่างทดสอบต้องแน่นเพียงพอ

และจุดยึดต้องไม่เคลื่อนไหวขณะทดสอบความโค้ง อีกทั้งตัวอย่างทดสอบต้องมีความยาวเพียงพอไม่ให้เกิดการรั้ง

2.4.6.3 อุปกรณ์ต้องสามารถโค้งงอเคเบิลไปหน้าและกลับหลังได้ 180 องศา อีกทั้งอุปกรณ์ต้องสามารถโค้งงอเคเบิลได้ 90 องศาทั้งสองด้านเมื่อเทียบกับแนวแกนตั้ง พร้อมกับให้แรงดึงกับเคเบิล ขณะทดสอบอุปกรณ์ในรูปที่ 8 ใช้สำหรับทดสอบเคเบิลแบบปล่อยปลายอิสระ ส่วนอุปกรณ์ในรูปที่ 9 ใช้สำหรับทดสอบส่วนประกอบของเคเบิลในลักษณะยึดปลาย ทั้งนี้การทดสอบอาจใช้อุปกรณ์อื่นที่เทียบเท่ากันได้แขนที่ใช้จัดวางเคเบิลจะต้องมีตัวยึดซึ่งสามารถจับเคเบิลได้อย่างแข็งแรงโดยไม่กดแน่นเกินไปจนกระทั่งทำให้เกิดการสูญเสียของสัญญาณแสง สำหรับการทดสอบในลักษณะยึดปลายเคเบิลนั้นหัวต่อสำหรับยึดปลายจะต้องติดตั้งอยู่บนแขนที่ใช้จับเคเบิลการโค้งงอเคเบิลในแนวตั้งให้โค้งไปทางขวาสุดแล้วกลับมาทางซ้ายสุดแล้วกลับมาที่ตำแหน่งตั้งตรงถือว่าเป็นหนึ่งรอบโดยปกติการโค้งงอ 1 รอบ ใช้เวลาประมาณ 2 วินาที อุปกรณ์อื่นที่ใช้ อาจประกอบด้วยอุปกรณ์ใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าทางแสง ตามรายละเอียดในข้อกำหนด ตาม IEC 60793-1-4 วิธี A (Transmitted power)

2.4.6.4 วิธีทดสอบ

1) สภาวะที่ทำการทดสอบอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมปรกติ เว้นแต่มีการกำหนดเป็นอื่น

2) การทดสอบแบ่งเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

• ขั้นตอนที่ 1 เตรียมตัวอย่างทดสอบโดยทิ้งไว้ที่สภาวะแวดล้อมปกติเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

• ขั้นตอนที่ 2 จับยึดตัวอย่างทดสอบกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 8 หรือรูปที่ 9

• ขั้นตอนที่ 3 ใส่ตุ้มน้ำหนัก ตามที่รายะเอียดกำหนดไว้

• ขั้นตอนที่ 4 วัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จุดเริ่มต้นเป็นค่าเบื้องต้นก่อนการทดสอบ

• ขั้นตอนที่ 5 ทำการโค้งซ้ำไปมา โดยจำนวนรอบในการโค้งเป็นไปตามรายะเอียดซึ่งกำหนดไว้

• ขั้นตอนที่ 6 ทำการวัดค่าพารามิเตอร์อีกครั้งซึ่งเป็นค่าหลังการทดสอบ แล้วนำเคเบิลมาตรวจดูสภาพภายนอกด้วยตาเปล่าด้วย

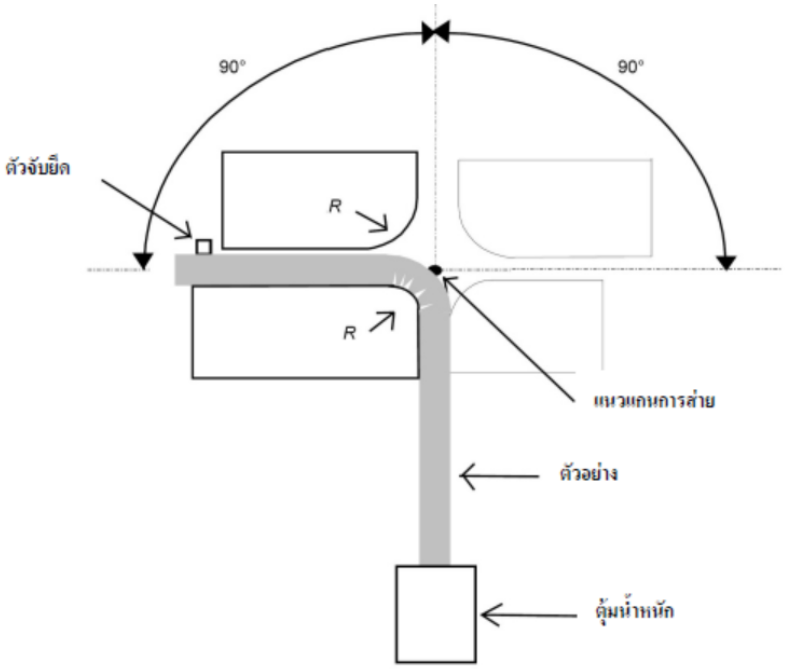
2.4.6.5 ข้อกำหนด การยอมรับผลการทดสอบขึ้นอยู่กับรายละเอียดที่ระบุไว้ในข้อกำหนด โดยทั่วไปผลการทดสอบที่ถือว่าไม่ผ่าน หมายถึงกรณีที่พบว่าเส้นใยนำแสงมีค่าสูญเสียความต่อเนื่องทางแสง ความสามารถในการสื่อสัญญาณแสงลดลง หรือเคเบิลเกิดความเสียหายทางกายภาพ

2.4.6.6 เงื่อนไขการทดสอบ รายละเอียดซึ่งต้องระบุ ประกอบด้วย

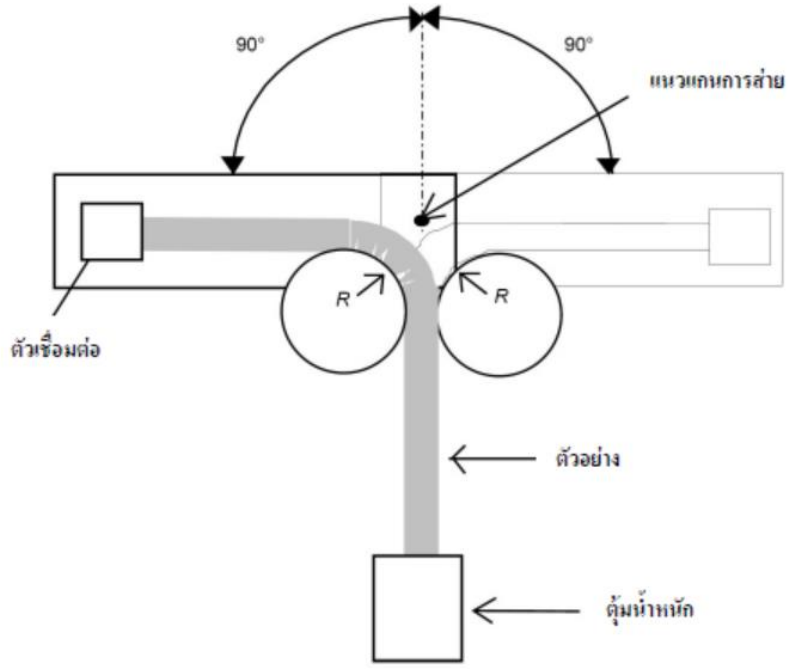
1) จำนวนรอบ

2) มวลน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ

3) รัศมีการโค้งงอ (R)



ภาพที่ 2.7 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบโค้งซ้ำ



ภาพที่ 2.8 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบโค้งซ้ำของเคเบิล และส่วนประกอบของเคเบิล

2.4.7 วิธี E7: การบิด

2.4.7.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้ เพื่อพิจารณาความสามารถในการทนต่อการบิดของเคเบิล โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานแสงที่เดินทางผ่านเส้นใยนำแสงเมื่อได้รับการบิดเกลียว พร้อมทั้งประเมินความเสียหายทางกายภาพที่เกิดขึ้นเมื่อเคเบิลได้รับการกระทำนี้

2.4.7.2 ตัวอย่างทดสอบ ความยาวของตัวอย่างต้องเพียงพอต่อการทดสอบการจับยึดและการบิด และเพียงพอสำหรับการวัดค่าทางแสง

2.4.7.3 อุปกรณ์ที่ใช้บิดประกอบด้วย อุปกรณ์สำหรับจับยึดเคเบิลสองข้าง ด้านหนึ่งยึดอยู่กับที่ อีกด้านหนึ่งสามารถหมุนได้และระยะห่างระหว่างตัวจับยึดทั้งสองสามารถปรับเลื่อนได้ตามความเหมาะสม ตัวจับยึดด้านที่หมุนได้จะต้องต่อเข้ากับอุปกรณ์อื่นๆได้ (เช่น torquing lever) และตัวจับยึดข้างใดข้างหนึ่งต้องสามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับยึดจับสายเคเบิลเพื่อทำการวัดค่าทางแสงดังภาพที่ 2.9, 2.10, 2.11

ตัวจับเคเบิลมีลักษณะดังนี้

- ตัวจับต้องจับเคเบิลได้แข็งแรงเพียงพอ ไม่ทำให้เคเบิลเคลื่อนที่ในตัวจับได้
- ตัวจับยึดทั้ง 2 ด้านต้องอยู่ในแนวเส้นตรง
- ขอบด้านในของตัวจับยึดต้องไม่สร้างความเสียหายให้กับเคเบิลและไม่ทำให้เกิดแรงกดมากขึ้นในเคเบิลด้วย
- กระบวนการจับยึดต้องไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการลดทอนสัญญาณของตัวอย่างทดสอบหากมีการกำหนดค่าการโค้งงอให้มีค่าต่ำ สามารถนำน้ำหนักมาถ่วงปลายสายเพื่อเพิ่มค่าแรงดึงให้กับ

ตัวอย่างทดสอบ ตามภาพที่ 2.10 และ 2.11 อุปกรณ์อื่นที่ใช้ อาจประกอบด้วยอุปกรณ์ใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าทางแสง ตามรายละเอียดในข้อกำหนด ตาม IEC 60793-1-4 วิธี A (Transmitted power)

2.4.7.4 วิธีทดสอบ ติดตั้งตัวอย่างทดสอบในอุปกรณ์ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างทดสอบ ยาว L (ภาพที่ 2.9, 2.10, 2.11) ซึ่งระบุ ไว้ในข้อกำหนด ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีแรงความเค้นใด ๆ กระทำต่อเคเบิลก่อนการทดสอบยกเว้นในลักษณะการบิดเกลียว อีกทั้งต้องระมัดระวังไม่ให้มีการเคลื่อนไหวหรือการกระทำใด ๆกระทบกระเทือนต่อตัวอย่างทดสอบขณะทำการทดสอบต้องจัดให้มีระยะตกท้องช้างต่ำสุด (ภาพที่ 2.9, หรือ 2.10) หรือความเบี่ยงเบนในแนวดิ่งจากแนวเส้นตรงต่ำสุด (ภาพที่ 2.11) เท่าที่จะทำได้การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงทางแสงต้องมีค่าก่อนทำการทดสอบเป็นค่าเปรียบเทียบ โดยต้องแน่ใจว่าการยึดจับเคเบิลไม่แน่นเกินไปจนส่งผลให้คุณสมบัติค่าต่าง ๆ ของเคเบิลลดลงในกรณีที่ไม่มีข้อห้ามกำหนดไว้ ระยะตกท้องช้างต้องน้อยที่สุดด้วยการให้แรงดึงระหว่างปลายจับเคเบิลทั้งสองข้างเพื่อทำให้เคเบิลเป็นเส้นตรง กรณีที่ไม่มีการกำหนดเป็นอื่น ให้ใช้ค่าแรงดึงที่กระทำตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แรงดึงที่กระทำ

เส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิล (มิลลิเมตร)	แรงกระทำต่ำสุด (นิวตัน)
< 2.5	15
2.6 – 4.0	25
4.1 – 6.0	40
6.1 – 9.0	45
9.1 – 13.0	50
13.1 – 18.0	55
18.1 – 24.0	65
24.1 – 30.0	70
> 30.1	75

กรณีที่ต้องการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงค่า การส่งผ่านสัญญาณแสง (Optical Transmittance) ให้ทำการวัดหลังจากมีการจับยึดเคเบิลและให้แรงกระทำแล้วการหมุนเคเบิลให้ปฏิบัติดังนี้

1) หมุนตามเข็มนาฬิกา 180 องศา

2) กลับมาที่ตำแหน่งเริ่มต้น

3) หมุนทวนเข็มนาฬิกา 180 องศา

4) หมุนกลับมาที่ตำแหน่งเริ่มต้น

การหมุนทั้งหมดนี้คิดเป็น 1 รอบ โดยปกติต้องกระทำให้ครบหนึ่งรอบภายในเวลา 1 นาที โดยทดสอบทั้งหมด 10 รอบ ระหว่างการหมุนรอบสุดท้าย (รอบที่ 10) ให้วัดค่าการส่งผ่านสัญญาณแสงของเส้นใยนำแสงภายในเคเบิล

1) ณ ตำแหน่ง หมุนตามเข็มนาฬิกา 180 องศา

2) ณ ตำแหน่ง เริ่มต้น 180 องศา ณ ตำแหน่ง หมุนทวนเข็มนาฬิกา

3) ณ ตำแหน่ง เริ่มต้น หลังการจากหมุนรอบสุดท้าย

พิจารณาเปรียบเทียบค่าที่ยอมรับได้ ทิ้งตัวอย่างทดสอบไว้อย่างน้อย 5 นาที แล้วนำออกมาจากอุปกรณ์ทดสอบ เพื่อตรวจสอบด้วยตาเปล่า

2.4.7.5 ข้อกำหนด การยอมรับผลการทดสอบขึ้นอยู่กับรายละเอียดที่ระบุไว้ในข้อกำหนด โดยทั่วไปผลการทดสอบที่ถือว่าไม่ผ่าน หมายถึงกรณีที่พบว่าเส้นใยนำแสงมีค่าสูญเสียความต่อเนื่องทางแสง ความสามารถในการสื่อสัญญาณแสงลดลง หรือเคเบิลเกิดความเสียหายทางกายภาพ

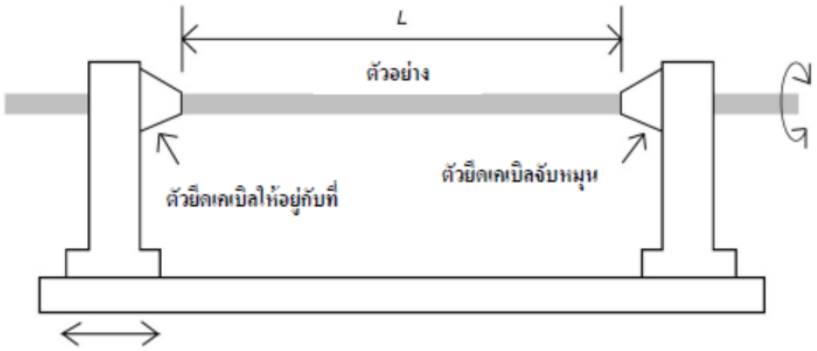
2.4.7.6 เงื่อนไขการทดสอบ รายละเอียดซึ่งต้องระบุประกอบด้วย

1) ความยาวตัวอย่างทดสอบ L

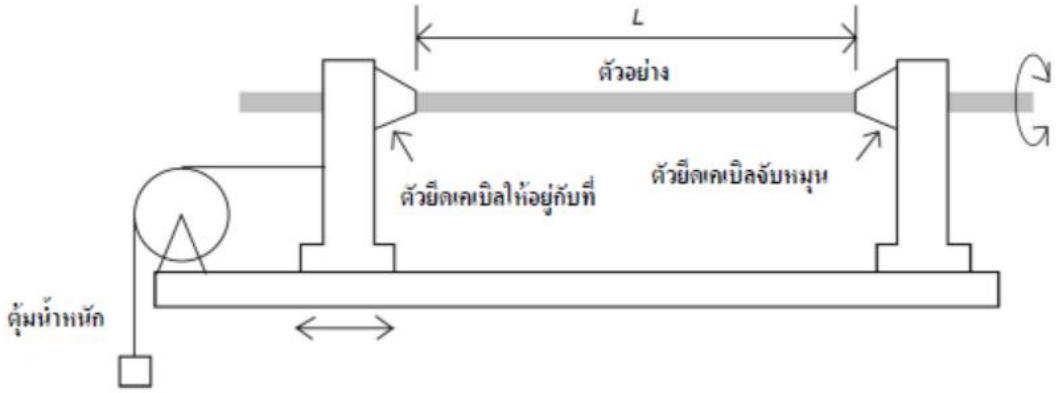
2) แรงดึงที่กระทำ

3) จำนวนเส้นใยนำแสง ที่ใช้วัดค่าการส่งผ่านสัญญาณแสง

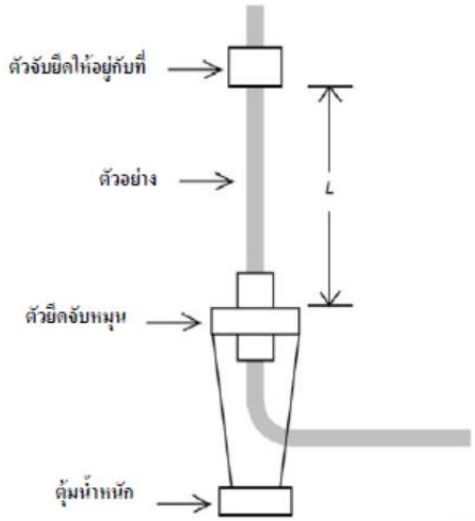
4) ค่าความเปลี่ยนแปลงมากสุดของค่าการส่งผ่านสัญญาณแสง ที่ยอมรับได้



ภาพที่ 2.9 อุปกรณ์สำหรับทดสอบการบิด



ภาพที่ 2.10 อุปกรณ์สำหรับทดสอบการบิดโดยมีแรงกระทำ



ภาพที่ 2.11 อุปกรณ์สำหรับทดสอบการบิดโดยมีแรงกระทำในวิธีอื่น

2.4.8 วิธี E8: การยืดหยุ่น

2.4.8.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้ เพื่อพิจารณาความสามารถในการทนต่อการยืดหยุ่นซ้ำของเคเบิลใยแก้วนำแสง เช่น เคเบิลใยแก้วนำแสงที่ใช้งานกับลิฟท์

2.4.8.2 ตัวอย่างทดสอบต้องมีความยาวเพียงพอต่อการทดสอบ และต่อปลายทั้งสองข้างด้วยหัวต่อ โดยเส้นใยนำแสง เปลือกเคเบิลและตัวรับแรงดึงต้องถูกจับยึดไว้ด้วยกัน

2.4.8.3 อุปกรณ์การทดสอบให้ใช้ชุดอุปกรณ์ตามภาพที่ 2.12 ลูกรอกที่มีร่องครึ่งวงกลมใช้ทดสอบกับเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบกลม และมีร่องแบนใช้ทดสอบกับเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบแบน มีตัวยึด D เพื่อตรึงการดึง โดยใช้แรงดึงจากก้อนน้ำหนักที่แขวนอยู่ที่ปลายทั้งสองของตัวอย่างทดสอบ อนึ่ง เครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันสามารถนำมาใช้กับการทดสอบนี้ได้ ตามตัวอย่างที่แสดงในมาตรฐาน IEC 60227-2

2.4.8.4 วิธีทดสอบ สภาวะที่ทำการทดสอบอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมปรกติ เว้นแต่มีการกำหนดเป็นอื่นปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างทดสอบต้องยื่นออกมาเกินลูกรอก และมีก้อนน้ำหนักแขวนไว้ โดยในเงื่อนไขการทดสอบต้องกำหนดค่ามวลของก้อนน้ำหนัก และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกรอก A และ B ไว้ ตัวอย่างทดสอบต้องถูกทดสอบความยืดหยุ่นโดยมีจำนวนรอบตามที่กำหนดไว้ในเงื่อนไขการทดสอบ รอบของการทดสอบ 1 รอบ กำหนดให้เริ่มต้นจากการเคลื่อนจากจุดเริ่มต้นด้านหนึ่งไปยังจุดปลายอีกด้านหนึ่ง และเคลื่อนกลับมาในทิศทางตรงกันข้ามมายังจุดเริ่มต้น

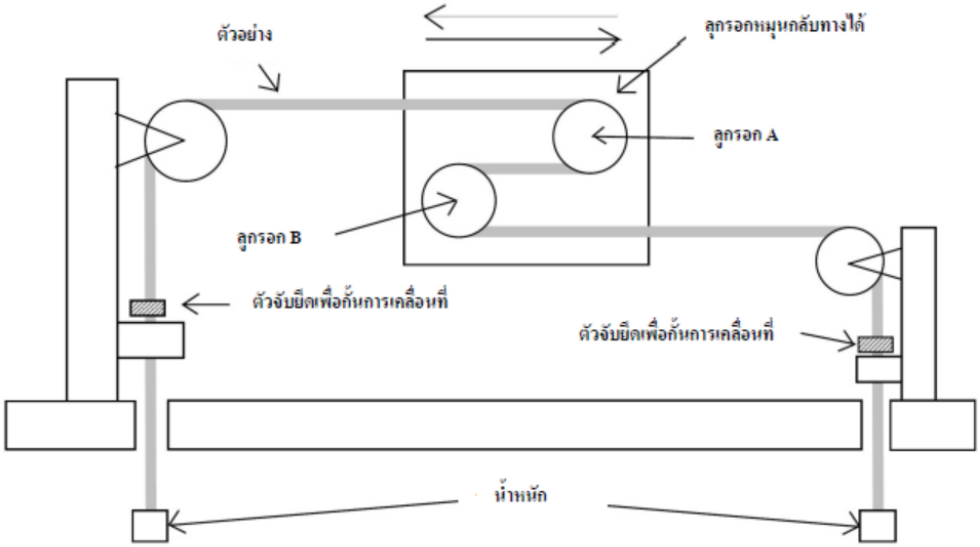
2.4.8.5 ข้อกำหนดการยอมรับผลการทดสอบขึ้นอยู่กับรายละเอียดที่ระบุไว้ในข้อกำหนด โดยทั่วไปผลการทดสอบที่ถือว่าไม่ผ่าน หมายถึงกรณีที่พบว่าเส้นใยนำแสงมีค่าสูญเสียความต่อเนื่องทางแสง ความสามารถในการสื่อสัญญาณแสงลดลง หรือเคเบิลเกิดความเสียหายทางกายภาพ

2.4.8.6 เงื่อนไขการทดสอบ รายละเอียดซึ่งต้องระบุประกอบด้วย

1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกรอก A และ B

2) มวลของก้อนน้ำหนัก

3) จำนวนรอบของการทดสอบ



ภาพที่ 2.12 อุปกรณ์ทดสอบการยืดหยุ่น

2.4.9 วิธี E10: การคดงอ

2.4.9.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้ เพื่อพิจารณาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต่ำที่สุดในการโค้งเคเบิลใยแก้วนำแสงเป็นวงแล้วไม่เกิดการหักงอ

2.4.9.2 ตัวอย่างทดสอบ ต้องมีความยาวเพียงพอต่อการทดสอบ

2.4.9.3 อุปกรณ์ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เฉพาะใดๆ

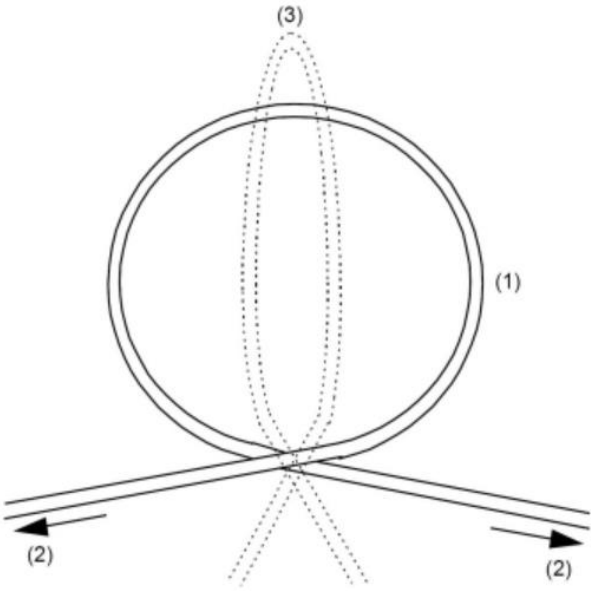
2.4.9.4 วิธีทดสอบ ขดตัวอย่างทดสอบเป็นวงดังภาพที่ 2.13 (1) ดึงปลายตัวอย่างทดสอบทั้งสองข้างอย่างช้าๆ ดังภาพที่ 2.13 (2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงจะค่อยๆลดลง โดยแรงกระทำที่ด้านล่างของวงจะต้องกระทำกับเคเบิลใยแก้วทั้งวงในแนวระนาบเดียวกันสภาวะที่ทำการทดสอบอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมปรกติ เว้นแต่มีการกำหนดเป็นอื่น

2.4.9.5 ข้อกำหนด ไม่เกิดการหักงอตัวขึ้นไปของเคเบิล ดังเช่นภาพที่ 2.13 (3)

2.4.9.6 เงื่อนไขการทดสอบ รายละเอียดซึ่งต้องระบุประกอบด้วย

1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุดของวงเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่เกิดการหักงอ

2) อุณหภูมิขณะทดสอบ



ภาพที่ 2.13 การทดสอบการคดงอ

2.4.10. วิธี E11: การโค้งงอ

2.4.10.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้ เพื่อพิจารณาความสามารถในการทนต่อการโค้งของเคเบิลใยแก้วนำแสงรอบแกนทดสอบ

2.4.10.2 ตัวอย่างทดสอบต้องมีความยาวเพียงพอต่อการทดสอบ และต่อปลายทั้งสองข้างด้วยหัวต่อ โดยเส้นใยนำแสง เปลือกเคเบิลและตัวรับแรงดึงต้องถูกจับยึดไว้ด้วยกัน

2.4.10.3 อุปกรณ์ แกนทดสอบแบบ 1 แกน ที่สามารถนำตัวอย่างทดสอบมาพันเป็นเกลียวรอบแกนได้

2.4.10.4 วิธีทดสอบสามารถกำหนดได้จากวิธีใดวิธีหนึ่งจาก 2 วิธี ดังต่อไปนี้

1) วิธีทดสอบที่ 1 – วิธีทดสอบ E11A พันตัวอย่างทดสอบเป็นเกลียวรอบแกนทดสอบด้วยแรงที่สม่ำเสมอ ขนาดของแรงดึงที่กระทำกับตัวอย่างทดสอบต้องมีขนาดเพียงพอให้ตัวอย่างทดสอบแนบชิดกับแกนทดสอบ จากนั้นจึงปล่อยตัวอย่างทดสอบการทดสอบหนึ่งรอบประกอบด้วย การพันรอบแกนทดสอบหนึ่งรอบและปล่อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนทดสอบจำนวนรอบที่พัน และจำนวนรอบที่ทดสอบต้องกำหนดไว้ในเงื่อนไขการทดสอบ

2) วิธีทดสอบที่ 2 – วิธีทดสอบ E11B พันตัวอย่างทดสอบรอบแกน 180 องศา และตรึงให้แน่น หนึ่งรอบที่พันประกอบด้วย พันตัว U แล้วพันทิศตรงข้ามตัว U แล้วหมุนเป็นเส้นตรง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนและจำนวนรอบที่พันต้องกำหนดไว้ในเงื่อนไขการทดสอบ

2.4.10.5 ข้อกำหนด การยอมรับผลการทดสอบขึ้นอยู่กับรายละเอียดที่ระบุไว้ในข้อกำหนด โดยทั่วไปผลการทดสอบที่ถือว่าไม่ผ่าน หมายถึงกรณีที่พบว่าเส้นใยนำแสงมีค่าสูญเสียความต่อเนื่องทางแสง ความสามารถในการสื่อสัญญาณแสงลดลง หรือเคเบิลเกิดความเสียหายทางกายภาพ

2.4.10.6 เงื่อนไขการทดสอบ รายละเอียดซึ่งต้องระบุประกอบด้วย

1) วิธีที่ใช้ (วิธีที่1 หรือวิธีที่ 2)

2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนทดสอบ หรือ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิล

3) จำนวนรอบที่ทดสอบ

4) จำนวนการหมุน (วิธีที่ 1)

5) ค่าสูงสุดการเพิ่มขึ้นของการลดทอนสัญญาณ

- ระหว่างการทดสอบ (ถ้าจำเป็นต้องใช้)
- หลังการทดสอบ (ถ้าจำเป็นต้องใช้)

6) อุณหภูมิขณะทดสอบ

2.4.11 วิธี E12: ความต้านทานการตัดผ่าน

2.4.11.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้ เพื่อพิจารณาความต้านทานการตัดผ่านของเปลือกเคเบิลเส้นใยนำแสง (ตัวอย่างเช่น เคเบิลที่ใช้กับเครื่องบินหรือ aircraft cable)

2.4.11.2 ตัวอย่างทดสอบ ต้องมีความยาวเพียงพอต่อการทดสอบ

2.4.11.3 อุปกรณ์ทดสอบได้ถูกออกแบบมาเพื่อการให้แรงตัดผ่านตามค่าและอัตราที่กำหนดไว้ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่เหมาะสมแสดงไว้ดังรูปที่ 15 รัศมีของหัวเข็มกำหนดไว้ในเงื่อนไขการทดสอบ

2.4.11.4 วิธีทดสอบให้แรงกระทำกับเคเบิลผ่านหัวกดด้วยอัตรา 50 + 10 นิวตันต่อนาที (N/min) อย่างช้า ๆ ตามระยะเวลาที่กำหนดในเงื่อนไขการทดสอบ เว้นแต่มีการกำหนดเป็นอื่น ตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นบนตัวอย่างทดสอบโดยการตรวจพินิจด้วยแว่นขยายที่มีขนาด 5-10 เท่า (5X – 10X)

2.4.11.5 ข้อกำหนดเปลือกของเคเบิลต้องไม่มีรูเกิดขึ้น และลักษณะของเปลือกเคเบิลต้องอยู่ในสภาพต่อเนื่อง ภายหลังการทำการทดสอบตามรายละเอียดที่ระบุไว้ (พิจารณา IEC 60793-1-46 วิธี A)

2.4.11.6 เงื่อนไขการทดสอบ รายละเอียดซึ่งต้องระบุประกอบด้วย

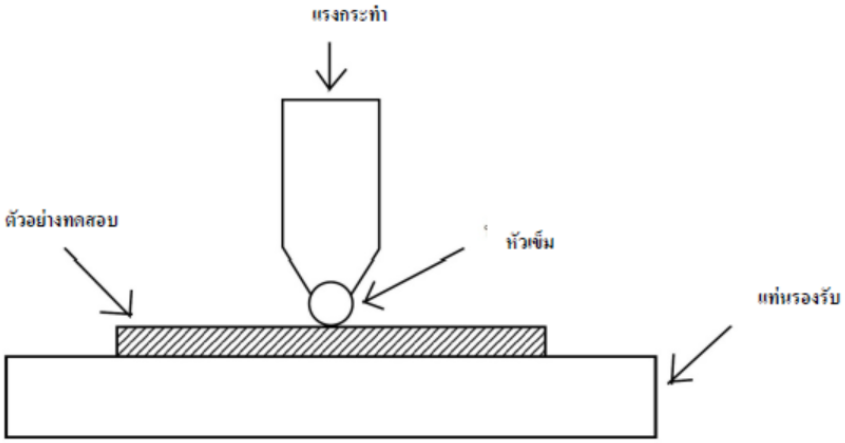
1) รัศมีของหัวเข็ม

2) อุณหภูมิขณะทดสอบ

3) แรงที่กระทำ

4) อัตราการให้แรงกระทำ

5) ระยะเวลาที่ให้แรงกระทำ



ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างอุปกรณ์การตัดผ่าน

2.5 การประเมินคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการสร้างและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยที่มีประสิทธิภาพ ที่จะสามารถนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เพื่อตอบปัญหาการวิจัยได้เป็นอย่างดี จำเป็นจะต้องมีขั้นตอนที่เป็นระบบในการสร้างและพัฒนา โดยหลังจากสร้างเครื่องมือเสร็จแล้วจะต้องนำเครื่องมือไปทดลองใช้แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าดัชนีที่บ่งชี้คุณภาพของเครื่องมือนั้นๆ ว่าเป็นอย่างไรที่เป็นขั้นตอนของ“การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย”

2.5.1 ความเที่ยงตรง

2.5.1.1 ความหมายของความเที่ยงตรง

ความเที่ยงตรง (Validity) มีลักษณะที่เรียกว่า “Measure What to Measure” ที่หมายถึงเครื่องมือวัดในสิ่งที่ต้องการวัด ไม่ใช่ต้องการวัดอย่างหนึ่งแล้วได้สิ่งอื่นมาทดแทน

ความเที่ยงตรง เป็นความสอดคล้องหรือความเหมาะสมของผลการวัดกับเนื้อเรื่อง หรือเกณฑ์หรือทฤษฎีที่เกี่ยวกับลักษณะที่มุ่งวัด (ศิริชัย กาญจนวาสี ,2544 : 73)

ความเที่ยงตรง เป็นคุณภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพในการทานายอนาคตของพฤติกรรม หรือเป็นค่าสหสัมพันธ์ของเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับองค์ประกอบที่ต้องการวัด ซึ่งเครื่องมือแต่ละอย่างจะมีจุดมุ่งหมายเฉพาะอย่าง ดังนั้นเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงในจุดมุ่งหมายหนึ่งไม่จาเป็นต้องมีความเที่ยงตรงในจุดมุ่งหมายทั้งหมด (Wainer and Braun,1988 : 20)

สรุปได้ว่าความเที่ยงตรง หมายถึง คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยที่สร้างขึ้น เพื่อใช้วัดในคุณลักษณะ/พฤติกรรม/เนื้อหาสาระที่ต้องการวัดได้อย่างถูกต้อง ครอบคลุม มีประสิทธิภาพ และวัดได้ถูกต้องตามความเป็นจริง

2.5.1.2 ธรรมชาติของความเที่ยงตรงในเครื่องมือการวิจัย มีธรรมชาติของความเที่ยงตรงที่นักวิจัยควรพิจารณา ดังนี้ (Gronlund,1985 : 51)

1) ความเที่ยงตรง เป็นประเด็นที่อ้างอิงจากการตีความหมายของผลที่ได้รับจากการใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ไม่ใช่เป็นความเที่ยงตรงของเครื่องมือโดยตรง

2) ความเที่ยงตรงเป็นการนาเสนอผลในลักษณะของระดับว่ามีมากหรือน้อยที่มีค่าที่แตกต่างกัน

3) ความเที่ยงตรงเป็นคุณสมบัติเฉพาะประเด็น/จุดประสงค์ที่ต้องการเก็บรวบรวมข้อมูลเท่านั้น แต่จะไม่มีเครื่องมือประเภทใดที่มีความเที่ยงตรงที่ครบถ้วน สมบูรณ์ในทุกประเด็นหรือจุดประสงค์

4) ความเที่ยงตรงเป็นความคิดรวบยอดเชิงเดี่ยว เป็นค่าของตัวเลขที่ได้มาจากหลักฐานหลากหลายแหล่ง หลักการพื้นฐานที่ใช้พิจารณาตีความหมายของความเที่ยงตรง ได้แก่ จุดประสงค์ เนื้อหาเกณฑ์หรือโครงการ เป็นต้น

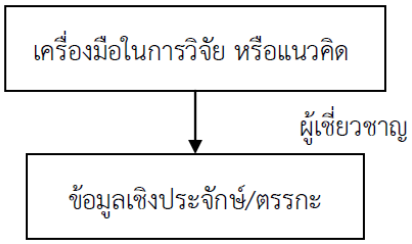
2.5.1.3 ประเภทของความเที่ยงตรง ในเครื่องมือวิจัยใด ๆ จำแนกประเภทของความเที่ยงตรงดังนี้ (บุญใจ ศรีสถิตย์นรากูร.2547 : 226-227)

1) ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) เป็นการตรวจสอบสรุปอ้างอิงถึงมวลเนื้อหาสาระ ความรู้ หรือประสบการณ์ ที่เครื่องมือมุ่งวัดว่ามีความครอบคลุม หรือเป็นตัวแทนมวลความรู้ หรือประสบการณ์ได้ดีเพียงไรที่สามารถดาเนินการได้ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 จำแนกตัวแปรให้ครอบคลุมตามแนวคิดหรือวัตถุประสงค์โดยการสร้างตารางวิเคราะห์ประเด็น/หลักสูตร และขั้นตอนที่ 2 พัฒนาเครื่องมือให้มีความครอบคลุมตัวแปรและวัตถุประสงค์ และสามารถตรวจสอบได้โดยวิธีดังนี้

1.1) ให้ผู้เชี่ยวชาญในศาสตร์นั้น ๆ ตรวจสอบความเหมาะสมของนิยาม ขอบเขตของเนื้อหา หรือประสบการณ์ที่มุ่งวัด

1.2) ตรวจสอบเนื้อหาหรือพฤติกรรมบางส่วนว่ามีความสอดคล้องกับเนื้อหาหรือพฤติกรรมทั้งหมดหรือไม่

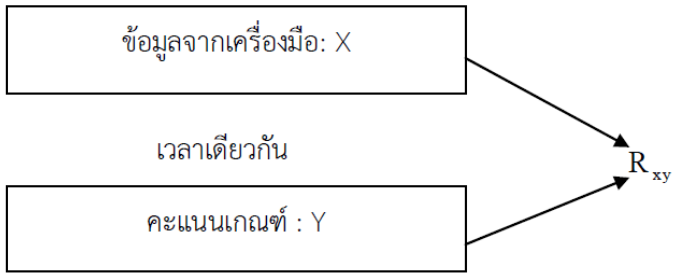
1.3) เปรียบเทียบสัดส่วนของข้อคำถามว่ามีความสอดคล้องกับน้าหนักความสาคัญของแต่ละเนื้อเรื่องที่มุ่งวัดมากน้อยเพียงไร ดังแสดงการตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (Bailey.1987 :67) ในภาพที่ 2.15 (Bailey,1987 :67)



ภาพที่ 2.15 การตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา

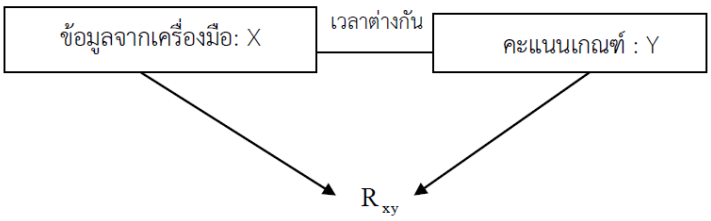
2) ความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ (Criterion-related Validity) เป็นการตรวจสอบสรุปอ้างอิงสมรรถนะการดาเนินงานของสิ่งที่มุ่งวัดว่าการวัดได้ผลสอดคล้องกับการดาเนินงานนั้นเพียงใด ที่จำแนกได้ดังนี้

2.1 ความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent Validity) ที่ใช้เกณฑ์เทียบความสัมพันธ์ที่เป็นสถานภาพการดาเนินการที่เป็นอยู่จริงในปัจจุบัน ที่สามารถตรวจสอบได้โดยคานวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่วัดได้จากเครื่องมือนั้นกับคะแนนที่วัดได้จากเครื่องมือมาตรฐานอื่น ๆ ที่วัดสิ่งนั้นได้ในปัจจุบันโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.80 ขึ้นไป ดังแสดงการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงสภาพในภาพที่ 2.16 (Bailey,1987 :68)



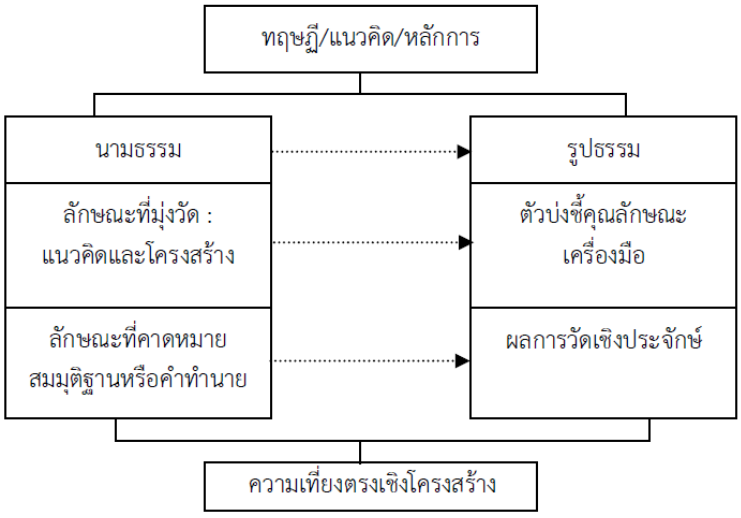
ภาพที่ 2.16 การตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงสภาพ

3.2.1 ความเที่ยงตรงเชิงพยากรณ์ (Predictive Validity) ที่ใช้เกณฑ์เทียบความสัมพันธ์เป็นผลสาเร็จของการปฏิบัติงานนั้นในอนาคต ที่ตรวจสอบได้โดยคานวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่วัดได้จากเครื่องมือนั้นกับคะแนนที่วัดได้จากเครื่องมือมาตรฐานอื่น ๆ ที่วัดสิ่งนั้นได้ในอนาคต ดังแสดงในภาพที่ 2.17 (Bailey,1987:68)



ภาพที่ 2.17 การตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงพยากรณ์

3.3 ความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) เป็นการสรุปอ้างอิงโครงสร้างของสิ่งที่มุ่งวัดว่าการวัดได้ผลตรงตามทฤษฎีของโครงสร้างนั้นๆ ได้ดีเพียงไร (Punch,1998: 101) ที่ตรวจสอบได้ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากเครื่องมือนั้นกับโครงสร้างและความหมายทางทฤษฎีของสิ่งที่มุ่งวัดด้วยวิธีตัดสินโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณา เปรียบเทียบคะแนนกับกลุ่มที่ได้ผลหรือวิธีวิเคราะห์เมตริกพหุลักษณะ-พหุวิธี หรือการวิเคราะห์องค์ประกอบ เป็นต้น ดังแสดงวิธีการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้างในภาพที่ 2.18 (ศิริชัย กาญจนวาสี,2544 : 92)



ภาพที่ 2.18 การตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง

4. แนวทางปฏิบัติเบื้องต้นในการสร้างเครื่องมือวิจัยให้มีความเที่ยงตรง

ในการสร้างเครื่องมือวิจัยให้มีความเที่ยงตรง มีแนวทางการปฏิบัติเบื้องต้น ดังนี้ (อาธง สุทธาศาสน์,2527 : 100-101)

4.1 ในการกำหนดความหมายของตัวแปรต้องให้มีความสอดคล้องและครอบคลุมประเด็นที่ต้องการโดยใช้แนวคิด ทฤษฎี และปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญ

4.2 การกำหนดข้อคำถาม/สร้างเครื่องมือวิจัย ควรคำนึงถึงหลักตรรกศาสตร์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเป็นกรอบแนวทาง

4.3 ให้ผู้เชี่ยวชาญได้พิจารณาเบื้องต้นในการพิจารณาความเหมาะสมและความครอบคลุม

4.4 ระมัดระวังในความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและการกำหนดความหมายของตัวแปรที่ต้องการอยู่ตลอดเวลา

5. การตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือจำแนก ได้ดังนี้

5.1 วิธีการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา เป็นการตรวจสอบเครื่องมือมีความเป็นตัวแทน หรือครอบคลุมเนื้อหาหรือไม่ โดยพิจารณาจากตารางวิเคราะห์เนื้อหา หรือตรวจสอบความสอดคล้องของเนื้อหากับจุดประสงค์ที่กำหนด จำแนกได้ดังนี้

5.1.1 วิธีที่ 1 จากการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญในศาสตร์นั้น ๆ จำนวน 3-7 คนเพื่อลงสรุป โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์(Index of Item-Objective Congruence : IOC) ที่มีเกณฑ์ในการพิจารณาให้คะแนน ดังนี้

ให้ 1 เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์

0 เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์หรือไม่

-1 เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์

หลังจากนั้นนำคะแนนของผู้เชี่ยวชาญมาหาค่าดัชนีความสอดคล้องฯ โดยใช้สูตรของโรวิเนลลี และแฮมเบิลตัน มีสูตรการคำนวณ (Rovinelli and Hambleton, 1977 : 49-60)

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

โดยที่ IOC เป็นค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์

$\sum R$ เป็นผลรวมของคะแนนจากการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ

N เป็นจำนวนผู้เชี่ยวชาญ

โดยกำหนดเกณฑ์การพิจารณาระดับค่าดัชนีความสอดคล้องฯ ของข้อคำถามที่ได้จากการคำนวณจากสูตรที่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00 มีรายละเอียดของเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป คัดเลือกข้อสอบข้อนั้นไว้ใช้ได้

แต่ถ้าได้ค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 ควรพิจารณาแก้ไขปรับปรุง หรือตัดทิ้ง

โดยกำหนดรูปแบบของแบบตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 รูปแบบของแบบตรวจสอบที่ให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

จุดประสงค์ที่/เนื้อหา	ข้อคำถาม	ผลการพิจารณา		
		+1	0	-1
1.....	1.....	.....	.....	.....
	2.....	.....	.....	.....
	3.....	.....	.....	.....
2.....	4.....	.....	.....	.....

ตัวอย่างที่ 1 การหาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดมุ่งหมายของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คนในการพิจารณาข้อคำถามข้อที่ 1-4 กับจุดประสงค์ข้อที่ 1 มีดังนี้

วิธีทำ

ข้อที่	คนที่ 1			คนที่ 2			คนที่ 3			ผลรวม $\sum R$	IOC $=\frac{\sum R}{N}$	ผลการวิเคราะห์
	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1			
1	✓			✓			✓			3	$=\frac{3}{3}=1$	นำไปใช้ได้
2		✓			✓			✓		0	$=\frac{0}{3}=0$	ใช้ไม่ได้
3	✓					✓			✓	-1	$=\frac{-1}{3}=-0.33$	ใช้ไม่ได้
4	✓			✓				✓		2	$=\frac{2}{3}=0.67$	นำไปใช้ได้

จากตารางแสดงว่ามีข้อสอบในการหาความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดมุ่งหมายมีข้อสอบที่สอดคล้องกับเกณฑ์ จำนวน 2 ข้อ คือ ข้อที่ 1 และข้อที่ 4 ที่สามารถนำไปใช้ได้ (ค่าIOC มากกว่า 0.5)

5.1.2 วิธีที่ 2 วิธีการหาดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาทั้งฉบับ เป็นวิธีการที่ประยุกต์จากแฮมเบลตันและคณะ (บุญใจ ศีรสถิตย์นรากูล,2547 : 224-225) มีดังนี้

5.1.2.1 ขั้นที่ 1 นำแบบทดสอบพร้อมเนื้อหาสาระ/โครงสร้างที่ต้องการวัดไปให้ผู้เชี่ยวชาญได้พิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับเนื้อหาสาระ/โครงสร้างที่กำหนดเกณฑ์เพื่อแสดงความคิดเห็น ดังนี้

ให้ 1 เมื่อพิจารณาว่า ข้อคำถามไม่สอดคล้องกับเนื้อหาสาระ/โครงสร้าง

2 เมื่อพิจารณาว่า ข้อคำถามจะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขอย่างมาก

3 เมื่อพิจารณาว่า ข้อคำถามจะต้องได้รับแก้ไขปรับปรุงเล็กน้อย

4 เมื่อพิจารณาว่า ข้อคำถามมีความสอดคล้องกับเนื้อหาสาระ/โครงสร้าง

5.1.2.2 ขั้นที่ 2 รวบรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมาการแจกแจงเป็นตาราง

5.1.2.3 ขั้นที่ 3 รวมจำนวนข้อคาถามที่ผู้เชี่ยวชาญทุกคนที่ให้ความคิดเห็นในระดับ 3 และ 4

5.1.2.4 ขั้นที่ 4 หาดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาจากสูตรคำนวณ

$$CVI = \frac{\sum R_{3,4}}{N}$$

เมื่อ CVI เป็นดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา

$\sum R_{3,4}$ เป็นจำนวนข้อที่ผู้เชี่ยวชาญทุกคนให้ระดับ 3 และ4

N เป็นจำนวนข้อสอบทั้งหมด

โดยมีเกณฑ์การพิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาที่ใช้ได้ ตั้งแต่ 0.8 ขึ้นไป (Davis 1992:104) และควรนำข้อคำถามที่ได้จากข้อที่ 1 และ 2 ไปปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้เครื่องมือวิจัยมีความครอบคลุมตัวแปรที่ต้องการศึกษา ดังตัวอย่างการหาค่าดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ดังแสดงตัวอย่างการหาค่าดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาทั้งฉบับในตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างที่ 2 การหาค่าดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา/โครงสร้างของแบบทดสอบฉบับหนึ่งที่มีผลการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ ดังแสดงข้อมูลในตาราง

วิธีทำ

ข้อที่	ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ																			
	คนที่ 1				คนที่ 2				คนที่ 3				คนที่ 4				คนที่ 5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1			✓				✓					✓				✓			✓	
2				✓			✓				✓				✓				✓	
3		✓				✓				✓					✓		✓			
4			✓				✓				✓					✓			✓	
5			✓				✓				✓				✓				✓	
6			✓				✓				✓				✓				✓	

จากตารางวิเคราะห์พบว่าข้อที่ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นในระดับ 3 และ 4 ได้แก่ 1,2,4,5,6 เป็นจำนวน 5 ข้อ ดังนั้น

$$CVI = \frac{\sum R_{3,4}}{N}$$

แทนค่า $CVI = \frac{5}{6} \approx 0.83$

แสดงว่าแบบสอบถามฉบับนี้มีค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาเท่ากับ 0.83 ผ่านเกณฑ์การพิจารณา

5.2 วิธีการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง มีวิธีการตรวจสอบ ดังนี้

5.2.1 การตรวจเชิงเหตุผล เป็นการตรวจสอบเนื้อหาของข้อคาถามว่าสอดคล้องกับกรอบแนวความคิด หรือทฤษฎีที่ใช้กำหนดเป็นโครงสร้างในการวัดหรือไม่ โดยจัดทำเป็นตารางโครงสร้างให้ผู้เชี่ยวชาญได้พิจารณาตรวจสอบ

5.2.2 การตรวจสอบความสอดคล้องภายใน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อคาถามแต่ละข้อกับคะแนนรวมของทั้งชุด หรือหาสหสัมพันธ์แบบไบซีเรียลระหว่างกลุ่มที่ได้คะแนนสูง กับคะแนนต่ำ ถ้าข้อใดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงอย่างมีนัยสาคัญทางสถิติ แสดงว่ามีความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง (ประชุมสุข อาชีวบารุง, 2519 : 117 อ้างอิงใน บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์,2534 :190)

5.2.3 เทคนิควิธีการใช้กลุ่มที่คุ้นเคย (Known-Group Technique) เป็นวิธีการนำเครื่องมือชุดที่ต้องการตรวจสอบไปให้กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม (จำนวนสมาชิกเท่ากัน) ได้ตอบคำถามโดยที่กลุ่มตัวอย่างจะมีลักษณะตรงกันข้าม กล่าวคือ กลุ่มแรกจะมีลักษณะสอดคล้องกับสิ่งที่ต้องการในแบบสอบถาม ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับกลุ่มแรก แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาอำนาจจำแนกเป็นรายข้อโดยใช้การทดสอบค่าที จากสูตร (Mclver and Carmines,1981 :24)

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n}}}$$

เมื่อ t เป็นค่าอำนาจจำแนกเป็นรายข้อ

$\overline{X}_1$ เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1

$\overline{X}_2$ เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 2

S_1^2 เป็นความแปรปรวนของกลุ่มที่ 1

S_2^2 เป็นความแปรปรวนของกลุ่มที่ 2

n เป็นจำนวนคนในกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 หรือ 2

โดยค่าอานาจจาแนกรายข้อที่ได้จะต้องมีค่า t มากกว่า 1.75 จึงจะเป็นข้อคาถามที่มีอานาจจาแนกคุณลักษณะของตัวแปรที่ต้องการ และเมื่อนามาพิจารณาในภาพรวมจะระบุว่าแบบสอบถามฉบับนั้นมีความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง

5.2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบ ที่เป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อคำถามแต่ละข้อเพื่อระบุลักษณะร่วมกันว่าข้อคำถามทั้งหมดประกอบด้วยองค์ประกอบอะไรบ้างสอดคล้องกับทฤษฎีหรือสมมุติฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้ามีความสอดคล้องก็แสดงว่ามีความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง

5.2.5 การใช้เมตริกลักษณะหลาก-วิธีหลาย ที่เป็นวิธีการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงลู่เข้า (Convergent) ที่เป็นการหาสหสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือที่วัดลักษณะเดียวกันแต่ใช้วิธีการต่างกัน และความเที่ยงตรงเชิงจำแนก (Discriminant) ที่ใช้หาสหสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือที่วัดลักษณะต่างกันแต่วัดด้วยวิธีการเดียวกัน (Brown,1979 : 135)

5.3 การตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเกณฑ์ มีวิธีการดังนี้ (บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์,2534 :192-193)

5.3.1 การหาสัมประสิทธิ์ความเที่ยงตรง โดยการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (กรณีที่เป็นคะแนน) หรือสหสัมพันธ์แบบไบซีเรียล (กรณีคะแนนเป็น 2 กรณี อาทิ ผ่าน-ไม่ผ่าน) ระหว่างผลของการวัดจากเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเกณฑ์ที่กาหนด (เชิงพยากรณ์)

5.3.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม เป็นการแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการนำเครื่องมือไปทดลองใช้เป็น 2 กลุ่มตามเกณฑ์ที่กำหนด แล้วนำคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนแล้วนำไปเปรียบเทียบด้วยการทดสอบที ถ้าผลการเปรียบเทียบพบว่าแตกต่างอย่างมีนัยสาคัญ โดยกลุ่มที่ได้คะแนนเฉลี่ยที่สูงกว่าเป็นกลุ่มที่มีลักษณะที่ต้องการ แสดงว่าเครื่องมือนั้นมีความที่ยงตรงตามเกณฑ์สัมพันธ์ (เชิงสภาพจริง)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ผู้จัยเน้นการสร้างชุดทดลองเพื่อการเรียนการสอน ซึ่งต้องผ่านการหาประสิทธิภาพ เพื่อได้ชุดทดลองที่ดี จึงได้ศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ศุภกฤษ สุขเจริญ (2554: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องวัดแรงดึงสายไฟฟ้า สำหรับเป็นเครื่องมือในการเรียนการสอนรายวิชาติดตั้งไฟฟ้าภายนอกอาคาร โดยสร้างวงจรประกอบเข้ากับเครื่องดึงสายไฟฟ้าตามหลักการทำงานของ Operation Amplifier และวงจร Bridge มีส่วนควบคุมการทำงานของเครื่องวัดแรงดึงสายไฟฟ้าและติดต่อกับผู้ใช้ด้วย Switch ON/OFF และ Set Zero Switch ทาการทดสอบเครื่องวัดแรงดึงสายไฟฟ้ากับเครื่องมือทดสอบแรงดึงเหล็กในแนวดิ่ง (Universal Testing Machine) รุ่น SHIMADZU UH-30A พบว่ามีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.56 และประเมินประสิทธิภาพการใช้งานโดยผู้เชี่ยวชาญ และกลุ่มตัวอย่างนักศึกษา ที่นำเครื่องวัดแรงดึงสายไฟฟ้าไปใช้งานจริง ภายหลังทดลองใช้งาน ผู้ใช้มีความเห็นสอดคล้องกันในระดับ “มาก” และ “มากที่สุด” ที่ค่าเฉลี่ย 4.42 และ 4.63 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.52 และ 0.42 ผู้ใช้มีความพึงพอใจมากที่สุดเรื่องขนาดและน้ำหนัก และความเหมาะสมของเครื่องมือกับการใช้งาน รองลงมาคือหน้าจอแสดงผล แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือดังกล่าวสามารถนำไปใช้และพัฒนาต่อสำหรับการเรียนการสอนในรายวิชาติดตั้งไฟฟ้าภายนอกอาคารและการทำงานต่อไปได้

พรเลิศ แสงกวีเลิศ (2545 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดการเรียนรู้สำหรับครูช่างอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มสมรรถนะด้านการวางแผนการสอนวิชาทฤษฎีช่างอุตสาหกรรม กลุ่มตัวอย่างการวิจัย คือ ครูอาจารย์ที่สอนวิชาทฤษฎีช่างอุตสาหกรรมในระดับ ปวช. และ ปวส. ที่ไม่มีประสบการณ์ในวิชาชีพครูโดยตรงก่อนการสอนจำนวน 50 คน ผลการวิจัยพบว่า ชุดการเรียนรู้ด้วยตนเองสามารถพัฒนาความรู้และความสามารถในการวางแผนการสอนวิชาทฤษฎีช่างอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ 95.03/90.66 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ 80/80 ตามที่ได้ตั้งไว้

ศักรินทร์ โสนันทะ (2542 : 4 – 57) ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองวิชา 111-363 ปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสาร กลุ่มตัวอย่างการวิจัย คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ที่ลงทะเบียนวิชา 111-363 ปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสาร ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2541 จำนวน 20 คน ผลการวิจัยพบว่าการหาประสิทธิภาพของชุดทดลองได้คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างด้วยแบบทดสอบหลังการประลองได้เท่ากับ 84.93%