บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้น

คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าจากตัวนำหนึ่งไปยังอีกตัวนำหนึ่ง ถ้าคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายเสื่อมสภาพจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก หรืออาจไม่สามารถส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าไปยังอีกวงจรหนึ่งได้ คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายจึงควรมีคุณสมบัติที่ดีทั้งทางกลและทางไฟฟ้า ความสามารถในการนำไฟฟ้าของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายจะขึ้นอยู่กับความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัส ดังนั้นกลไกการเสื่อมสภาพของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายก็คือปรากฏการณ์ที่ทำให้ความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัสสูงขึ้น

2.1 คุณสมบัติของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ดี

2.1.1 คุณสมบัติทางกล

คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายต้องสามารถรับแรงดึงของสายไฟหรือตัวนำที่ต่ออยู่ได้ และเกิดการเคลื่อนที่ของเนื้อโลหะตัวนำที่อยู่ภายใต้แรงบีบของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายน้อยที่สุด นอกจากนี้คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายควรจะต้องมีแรงกดบนเนื้อโลหะตัวนำสม่ำเสมอทุกจุดและคงที่เพื่อให้การกระจายของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมีความสม่ำเสมอ

2.1.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

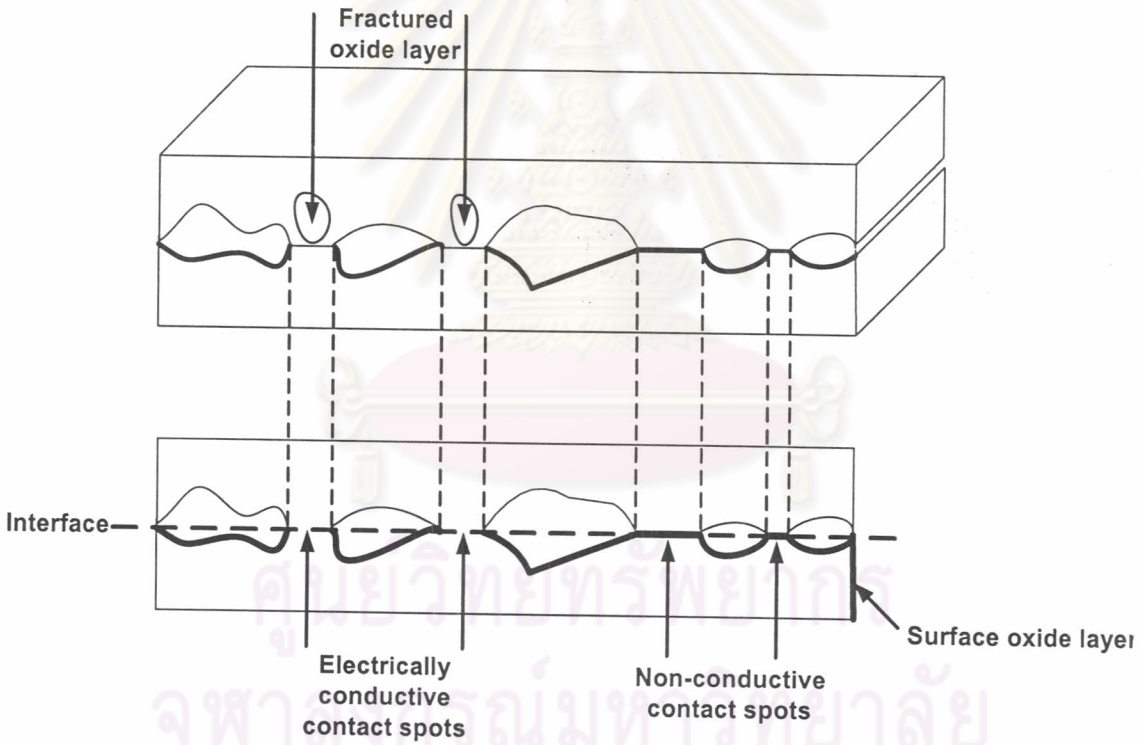
หน้าสัมผัสทางไฟฟ้าระหว่างคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายกับตัวนำควรมีพื้นที่มากที่สุด มีความต้านทานต่ำ นำไฟฟ้าได้ดี เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ง่าย เกิดกำลังสูญเสียที่หน้าสัมผัสน้อยที่สุด และเนื่องจากโลหะสามารถเกิด*ฟิล์มออกไซด์* (Oxide film) ขึ้นได้ที่ผิว ซึ่งจะมีสภาพเป็นฉนวน ดังนั้นการติดตั้งคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายควรคำนึงถึงฟิล์มออกไซด์นี้ด้วย โดยการขัดผิวโลหะก่อนการติดตั้งเพื่อขจัดฟิล์มออกไซด์นี้

2.2 การนำไฟฟ้าของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย

คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายมีหน้าที่เชื่อมต่อการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าระหว่างตัวนำเส้นหนึ่งไปยังอีกเส้นหนึ่ง ผ่านทางผิวเนื้อโลหะตัวนำของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย ถ้าหากเราดูที่ผิวหน้าสัมผัสระหว่างคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายกับตัวนำสายไฟ ด้วยกล้องที่มีกำลังขยายสูงจะพบว่าผิวทั้งสองด้านมีลักษณะไม่เรียบ ซึ่งประกอบไปด้วยยอดและร่องเล็ก ๆ มากมาย ดังรูปที่ 2.1 ส่วน

ที่สัมผัสกันระหว่างคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายกับตัวนำสายไฟเท่านั้นที่เป็นบริเวณที่สัมผัสทางกล จากลักษณะดังกล่าว ทำให้พื้นที่สัมผัสทางกลจึงมีขนาดน้อยกว่าพื้นที่หน้าสัมผัสที่เห็นจากภายนอก นอกจากนี้ที่ผิวของตัวนำจะเกิดชั้นของฟิล์มออกไซด์ ขึ้น ซึ่งมีความหนาประมาณ 3 nm เนื่องจากฟิล์มออกไซด์มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ดังนั้นส่วนที่เราเห็นว่าต่อกันอยู่ อาจจะไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ แต่ฟิล์มออกไซด์นี้สามารถแตกหรือหลุดกลายเป็นส่วนที่นำไฟฟ้าได้เมื่อรับแรงทางกลที่มากพอ [R.S. Timsit, J.D. Sprecher: 1998]

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าจริง ๆ แล้วมีพื้นที่น้อยมาก โดยทั่วไปมีพื้นที่ประมาณ 1% ของหน้าสัมผัสทั้งหมด [J.J. Sprecher, J. Schindler and etc: 1996] จุดที่สัมผัสทางไฟฟ้าระหว่างคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย และสายไฟมักเรียกว่า a-spots เนื่องจาก a-spots นี้มีขนาดเล็กมาก หน้าสัมผัสที่นำไฟฟ้าจึงสามารถถูกทำลายโดยง่าย เมื่อมีแรงทางกลมากระทำ เช่น การเคลื่อนที่จากการสั่นทางกล หรือการขยายตัวจากความร้อนบนผิวตัวนำ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ภาพขยายที่รอยต่อระหว่างผิวหน้าสัมผัสระหว่างคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายกับตัวนำสายไฟ

2.3 การเสื่อมสภาพของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย

ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายมีอยู่หลายประการ ดังนี้

2.3.1 พื้นที่หน้าสัมผัส

โดยทั่ว ๆ ไป ผิวตัวนำจะไม่เรียบ แต่จะเต็มไปด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ มากมาย เช่น ฟิล์มออกไซด์ และสิ่งเปรอะเปื้อนต่าง ๆ เป็นต้น ดังนั้นบริเวณพื้นที่หน้าสัมผัสซึ่งมีส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้จะทำให้บริเวณดังกล่าวนำไฟฟ้าได้ไม่ดี หรือไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ จุดเชื่อมต่อที่ดีจะต้องทำให้อุณหภูมิที่หน้าผิวสัมผัสมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายทั้งหมดเล็กน้อย ดังนั้นถ้าจุดเชื่อมต่อไม่ดีจะทำให้อุณหภูมิของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายมีค่าสูงมาก จนเร่งให้พื้นที่หน้าสัมผัสเสื่อมสภาพ การเสื่อมสภาพนี้จะสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ จึงเป็นการเร่งให้อุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้นอีก จนในที่สุดคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายก็จะไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ ดังนั้นคุณสมบัติที่สำคัญตัวหนึ่งของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ดีคือ ต้องมีพื้นที่หน้าสัมผัสทางไฟฟ้าที่มากเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการเร่งอุณหภูมิให้สูงขึ้น ทั้งตอนเริ่มต้น หรือใช้งานผ่านไป การขัดผิวตัวนำเป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้มีพื้นที่หน้าสัมผัสทางไฟฟ้าที่มากพอ

2.3.2 ออกซิเดชัน

การเกิดออกซิเดชันที่หน้าผิวสัมผัสของโลหะกับโลหะทั่ว ๆ ไปจะถูกพิจารณาว่าเป็นกลไกที่สำคัญต่อการเสื่อมสภาพของจุดเชื่อมต่อ แต่ในกรณีหน้าผิวสัมผัสของอะลูมิเนียม การเกิดออกซิเดชันจะถูกพิจารณาว่าเป็นกลไกการเสื่อมสภาพที่ไม่สำคัญนัก เนื่องจากการเกิดขึ้นของฟิล์มออกไซด์จะถูกจำกัดที่ความหนาประมาณ 10 nm ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นมาก ความหนาของฟิล์มออกไซด์มีขนาดน้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของ a-spot มาก

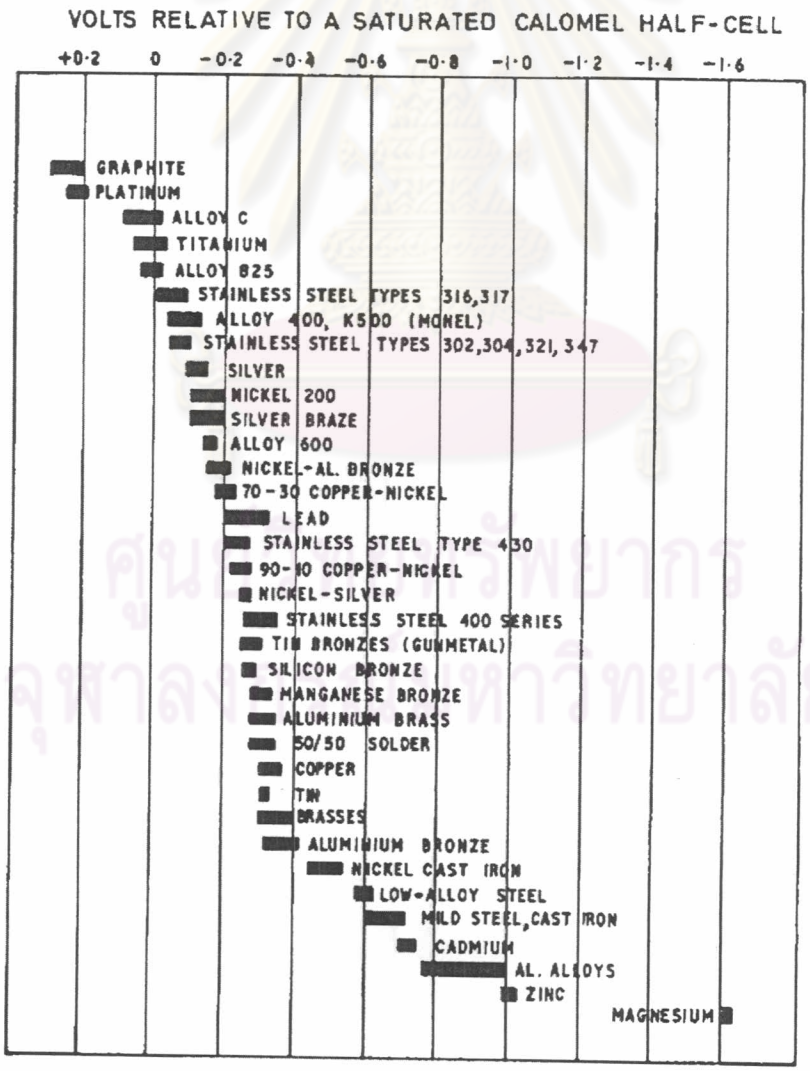
เมื่อผิวของอะลูมิเนียมเปลือยสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ จะเกิดฟิล์มออกไซด์ขึ้น 2 ชั้น คือ ชั้นใน ซึ่งเป็น*ชั้นบาง ๆ ที่ไม่มีความพรุน* (thin non-porous) และชั้นนอก ซึ่งอาจมีความพรุนมาก หรือน้อยกว่าชั้นใน ความหนาของ*ฟิล์มออกไซด์ชั้นใน* (barrier layer) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยจะมีความหนามากถึงจุดหนึ่งภายในเวลาไม่กี่ μs ในขณะที่*ฟิล์มออกไซด์ชั้นนอก* (bulk film) จะมีความหนาเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ขึ้นอยู่กับความชื้น และอุณหภูมิ

สมบัติของฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ คือ แข็ง และ เปราะ มีค่าความต้านทานสูงในระดับ 10^{24} μΩ-cm นอกจากนั้นยังโปร่งแสง ดังนั้นการที่เราเห็นว่าตัวนำอะลูมิเนียมมีความเงา และสะอาด ไม่จำเป็นว่าจะต้องมีความต้านทานต่ำ หากไม่มีการทำความสะอาดผิวอย่างเหมาะสม กระแสจะไหลผ่านได้เฉพาะบริเวณที่ไม่มีฟิล์มออกไซด์อยู่เท่านั้น

2.3.3 การกัดกร่อนแกลแวนิก

การกัดกร่อนแกลแวนิก (Galvanic Corrosion) จะเกิดขึ้นเมื่อมีโลหะ 2 ชนิดที่ต่างกันอยู่ใกล้กันภายใต้สภาวะที่นำไอออนได้ หรือเรียกได้อีกอย่างว่า *อิเล็กโทรไลต์* (electrolyte) ในสภาวะแกลแวนิกจะมีโลหะตัวหนึ่งประพฤติตัวเป็น *แอโนด* (anode) ซึ่งจะถูกกัดกร่อนด้วยอัตราที่เร็วกว่าปกติ ในขณะที่โลหะอีกตัวหนึ่งจะประพฤติตัวเป็น *แคโทด* (cathode) ซึ่งจะถูกกัดกร่อนด้วยอัตราที่ช้ากว่าปกติ [Kennedy Space Center: Online] วิธีการพิจารณาว่าโลหะชนิดใดเป็นแอโนด-แคโทด สามารถพิจารณาได้จาก*ตารางค่าศักย์ไฟฟ้าของโลหะชนิดต่าง ๆ* (Galvanic series) ดังตารางที่ 2.1 [E.R. Lee: Online] จากตารางโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าน้อยกว่าจะเป็นแอโนด ส่วนโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าจะเป็นแคโทด แคโทดจะรับ*อิเล็กตรอน* (electron) หรือ*ไอออนลบ* (negative ion) จากแอโนด ดังนั้นแอโนดจึงถูกกัดกร่อนไป

ตารางที่ 2.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าของโลหะชนิดต่าง ๆ



กรณีของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่เชื่อมต่อระหว่างตัวนำอะลูมิเนียม-ทองแดง จากตารางที่ 2.1 จะได้ว่าอะลูมิเนียมมีค่าศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วง -0.7 ถึง -0.9 โวลต์ (เฉลี่ยประมาณ -0.8 โวลต์) และทองแดงมีค่าศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ -0.3 โวลต์ จะเห็นว่าอะลูมิเนียมมีค่าศักย์ไฟฟ้าน้อยกว่าทองแดง ดังนั้นอะลูมิเนียมประพฤติตัวเป็นแอโนด ซึ่งจะถูกกัดกร่อนด้วยอัตราที่เร็วกว่า และทองแดงประพฤติตัวเป็นแคโทด ซึ่งจะถูกกัดกร่อนด้วยอัตราที่ช้ากว่า ค่าความต่างศักย์ของโลหะทั้งสองชนิดมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.5 โวลต์ (ได้จากการลบกันระหว่างค่าเฉลี่ยของศักย์ไฟฟ้าโลหะแคโทดกับแอโนด) ค่าความต่างศักย์นี้เป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดกระแสไหล ซึ่งจะเป็นการเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อนโลหะให้เร็วขึ้น

การกัดกร่อนแกลวานิกทำให้คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่เชื่อมระหว่างตัวนำอะลูมิเนียม-ทองแดง ให้เสื่อมสภาพได้ 2 วิธีคือ หน้าสัมผัสทางไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว และคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายถูกกัดกร่อนจนไม่สามารถรับแรงทางกลได้ นอกจากชนิดของโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกันแล้ว ยังมีปัจจัยสำคัญอีกตัวที่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อนแกลวานิก คือ ความชื้น

2.3.4 การขยายตัวเหตุความร้อน

การขยายตัวเหตุความร้อน (Thermal Expansion) เกิดจากความแตกต่างของสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของโลหะแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน ดังเช่นคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ทำมาจากอะลูมิเนียม กับสายตัวนำที่ทำมาจากทองแดง ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของอะลูมิเนียมมีค่าสูงกว่าของทองแดง ดังนั้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิด้วยค่าเท่ากันทั้งคอนเนคเนคเตอร์ต่อแยกสายและสายตัวนำทองแดง คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายจะขยายตัวมากกว่าสาย ตัวนำทองแดง ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของบริเวณหน้าสัมผัส และแรงกดระหว่างผิวหน้าสัมผัสลดลง กำลังสูญเสียจะมากขึ้น ความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัสสูงขึ้น และจะเป็นการเร่งให้อุณหภูมิสูงขึ้นไปอีก

ผลที่สำคัญจากการการขยายตัวเหตุความร้อน คือการสูญเสียรูปร่าง อย่างเช่นจุดเชื่อมต่อระหว่างตัวนำอะลูมิเนียมและทองแดง ที่ขันสลักเกลียวด้วยแรงที่มากเกินไป จะทำให้ตัวนำอะลูมิเนียม-ทองแดง เสียรูปร่างไปได้ระหว่างที่มีความร้อนเกิดขึ้น และจะไม่กลับคืนรูปร่างเดิมเมื่ออุณหภูมิลดลง เมื่อเกิดการร้อน-เย็น ซ้ำขึ้นอีก ก็จะทำให้จุดเชื่อมต่อนี้เกิดหลวม และก่อให้เกิดความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัส และอุณหภูมิสูงขึ้น วิธีแก้ปัญหาที่ดีอย่างหนึ่ง คือการใช้*แหวนรองสลักเกลียวแบบดิสก์สปริง* (Belleville) ซึ่งทำมาจาก*อัลลอยที่มีความสามารถจำรูปได้* (Shape-memory alloy) เมื่อแหวนรองสลักเกลียวแบบดิสก์สปริงได้รับความร้อน และเกิดการสูญเสียรูป-

ร่างไปแล้ว สามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้หลังจากอุณหภูมิลดลง [A. Oberg and S.Nillson: 1993]

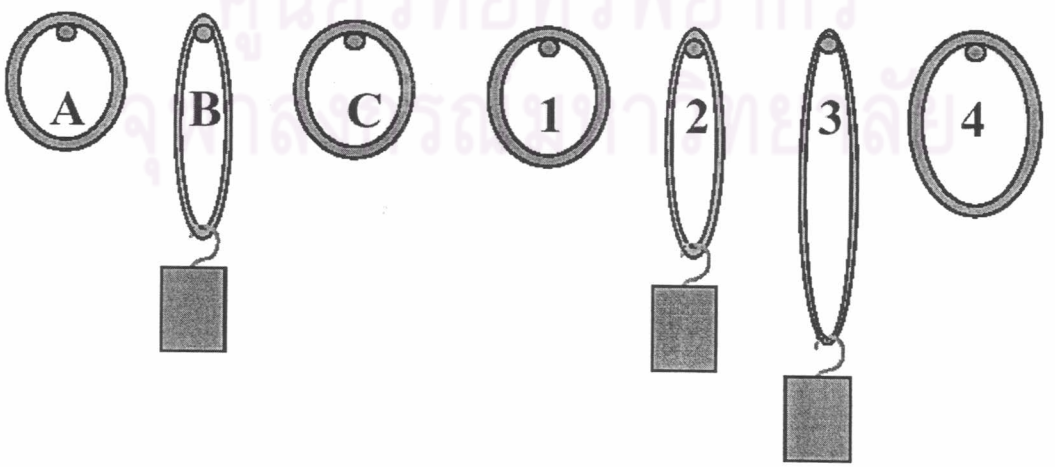
2.3.5 ปรากฏการณ์ Fretting

เกิดจากการเคลื่อนที่ซ้ำไป-มาที่ไม่แรง เช่นการสั่นของสายไฟ การขยายตัวจากความร้อนของหน้าผิวสัมผัสที่ไม่เท่ากัน หรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จุดเชื่อมต่อ เป็นต้น ก่อให้เกิดการทำลายแบบเร่งที่หน้าผิวสัมผัสจนทำให้ a-spots แตก และเนื่องจากการเคลื่อนที่นี้มีความแรงไม่มาก จึงไม่ได้ทำให้เศษตะกอนของโลหะหลุดออกไปจากบริเวณหน้าผิวสัมผัส เกิดการสะสมของออกไซด์เป็นชั้นฉนวนที่หนาในบริเวณหน้าผิวสัมผัส ซึ่งทำให้ความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัสสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่นี้อาจทำให้ความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัสมีค่าลดลงก็ได้ ถ้าเกิดมี a-spots เพิ่มขึ้นทดแทน a-spots เดิมที่แตกไป

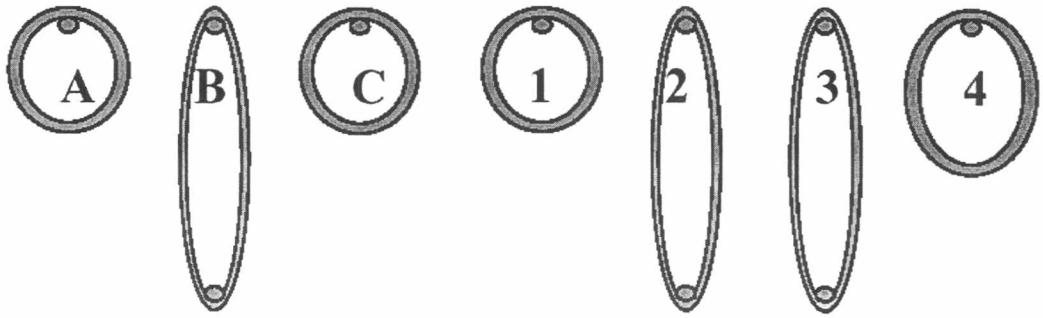
ผลของปรากฏการณ์ Fretting เป็นปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาในคอนเนคเตอร์ต่อแยก-สายที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโลหะอะลูมิเนียม หน้าสัมผัสอะลูมิเนียมที่แห้งจะไวต่อการถูกทำลายแบบ fretting มากที่สุด เนื่องจากออกไซด์ของอะลูมิเนียมมีลักษณะแข็ง จึงทำลายหน้าผิวสัมผัสโลหะได้ง่าย

2.3.6 การคลายตัวความเค้น/ การคืบ

การคืบ (Creep) เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เพิ่มขึ้นภายใต้แรงกระทำคงที่จากภายนอกช่วงระยะเวลาหนึ่ง [กาญพันธ์ สกุลแก้ว: Online] *การคลายตัวความเค้น* (Stress Relaxation) เป็นการลดลงของแรงตามเวลาแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง อัตราการคืบและการคลายตัว-ความเค้น จะขึ้นอยู่กับ เวลา, ความเค้น และอุณหภูมิ ความแตกต่างระหว่างการคืบ กับการคลาย-ตัวความเค้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ [M. Gedeon: Online]



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการคืบ



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการคลายตัวความเค้น

รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการเกิดการคืบภายใต้แรงกระทำคงที่ตามแรงโน้มถ่วง รูป "A" เป็นสภาวะเริ่มต้นของยางที่ถูกแขวนอยู่กับหมุด จากนั้นนำก้อนน้ำหนักมาถ่วงบนยางจะได้ดังรูป "B" เมื่อนำก้อนน้ำหนักออกทันทีจะพบว่ายางมีลักษณะดังรูป "C" ซึ่งกลับคืนสู่สภาพเดิม แต่เมื่อลองนำก้อนน้ำหนักมาถ่วงบนยางใหม่จนได้ดังรูป "2" แล้วปล่อยก้อนน้ำหนักทิ้งไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่งจะพบว่ายางเปลี่ยนรูปร่างเป็นดังรูป "3" แล้วเมื่อนำก้อนน้ำหนักออกจะพบว่าเป็นดังรูป "4" ซึ่งไม่กลับคืนรูปร่างไปเหมือนรูป "1" อีกต่อไป

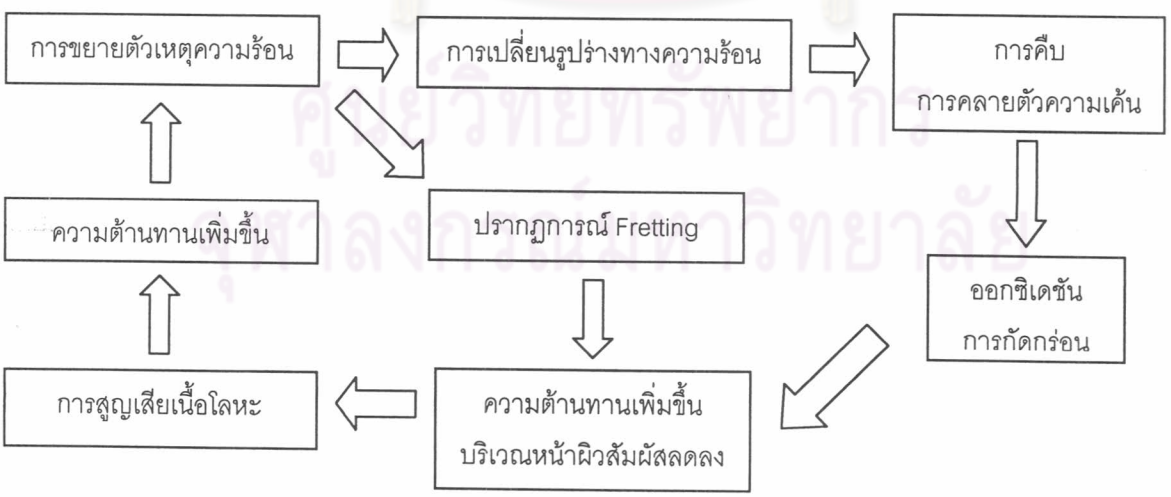
ส่วนรูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการเกิดการคลายตัวความเค้นภายใต้แรงกระทำคงที่ตามแรงโน้มถ่วง รูป "A" เป็นสภาวะเริ่มต้นของยางที่ถูกแขวนอยู่กับหมุด จากนั้นนำก้อนน้ำหนักมาถ่วงบนยางจะได้ดังรูป "B" เมื่อนำก้อนน้ำหนักออกทันทีจะพบว่ายางมีลักษณะดังรูป "C" ซึ่งกลับคืนสู่สภาพเดิม เช่นเดียวกับการคืบ แต่เมื่อลองนำก้อนน้ำหนักมาถ่วงบนยางใหม่จนได้ดังรูป "2" แล้วปล่อยก้อนน้ำหนักทิ้งไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่งจะพบว่ายางยังคงมีลักษณะเดียวกับ "2" จากนั้นนำก้อนน้ำหนักออกจะพบว่ายางเป็นดัง "4" ซึ่งไม่กลับคืนรูปร่างไปเหมือน "1" อีกต่อไปเช่นเดียวกับการคืบ

ในขณะที่สายไฟ และคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัส ถ้าการขยายตัวจากความร้อนของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย กับสายไฟ มีค่าไม่เท่ากัน จะทำให้แรงกดที่หน้าสัมผัสลดลง ความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัสสูงขึ้น เมื่อความต้านทานสูงขึ้น ความร้อนก็สูงขึ้น การขยายตัวก็ต่างกันมากขึ้น แรงกดก็ลดลงมากขึ้น เป็นเช่นนี้ต่อไป จึงเรียกการเสื่อมสภาพแบบนี้ว่าเป็น*แบบเร่งตัวเอง* (Self-accelerated) และจากการขยายตัวที่ต่างกันจะทำให้แรงกดบนผิวสายไฟไม่เท่ากันทุกจุดจึงเกิดการคืบ และการคลายตัวความเค้นขึ้น เมื่อสายไฟร้อนมาก ความแข็งแรงทางกลของสายก็จะลดลง

2.3.7 ปรากฏการณ์ Diffusion/Alloying

เนื่องจาก a-spots มีน้อยเมื่อเทียบกับหน้าสัมผัสทั้งหมด ทำให้กระแสที่ไหลผ่าน a-spots มีความหนาแน่นของกระแสสูงมาก เกิดความร้อนสูงกว่าบริเวณรอบข้าง ถ้าอุณหภูมินี้มีสูงเพียงพอจะก่อให้เกิดการแพร่ระหว่างผิวหน้าสัมผัส ทำให้สูญเสียเนื้อตัวนำระหว่างคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายกับสายไฟได้ และถ้าหน้าผิวสัมผัสเป็นโลหะต่างชนิดกัน จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟส (phase) ระหว่างผิวโลหะทั้งสองได้ โดยทั่ว ๆ ไปลักษณะเฟสที่เกิดขึ้นจะมีสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลที่ไม่ดี ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกของ a-spots ได้ [A. Oberg, K.-E. Olsson and etc.: 1990]

กลไกการเสื่อมสภาพที่กล่าวข้างต้นอาจสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2.4 [M. Braunovic: 1994] ซึ่งอาจเกิดจากอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายกลไกพร้อมกัน กลไกทั้งหมดนี้จะทำให้ความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัสมีค่าสูงขึ้น จึงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย อย่างไรก็ตาม มีความเป็นไปได้ที่กลไกข้างต้นจะทำให้ค่าความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัสมีค่าลดลง เนื่องจากความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัสจะขึ้นกับปริมาณพื้นที่ a-spots ถ้ามีปริมาณพื้นที่ a-spots เพิ่มขึ้นความต้านทานก็จะลดลงได้เช่น หากอุณหภูมิสูงขึ้นจนเนื้อโลหะตัวนำอ่อนตัวลง มีแรงกดสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้ปริมาณพื้นที่ a-spots เพิ่มขึ้นด้วย และถ้าอุณหภูมิยังสูงเพิ่มขึ้นต่อไปอีก ก็จะทำให้เนื้อโลหะหลอมละลาย ติดกัน ความต้านทานก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิจะลดลงเข้าสู่จุดสมดุล ในกรณีนี้จะเห็นว่า แม้ค่าความต้านทานที่หน้าผิวสัมผัสมีค่าลดลง แต่คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายมีสภาพเปลี่ยนแปลงไป ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายนี้จึงเกิดการเสื่อมสภาพเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของกลไกการเสื่อมสภาพ