

บทที่ ๒

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการกัดกร่อน กล่าวได้ว่าทุกสิ่งแวดล้อมโลหะล้วนมีผลต่อการกัดกร่อนทั้งสิ้น แตกต่างกันไปแต่เพียงแต่มีฤทธิ์กัดกร่อนต่างกันจึงทำให้เกิดความรุนแรงต่างกัน สิ่งแวดล้อมเหล่านี้ได้แก่ อากาศ ความชื้นในอากาศ น้ำธรรมชาติ น้ำบริสุทธิ์ น้ำกลั่น น้ำที่มีไอออนต่างๆ น้ำเกลือ ก๊าซต่างๆ ในอากาศตามธรรมชาติ ก๊าซเป็นมลพิษ อากาศในเมือง อากาศรอบๆ โรงงานอุตสาหกรรม อากาศนอกเมืองที่บริสุทธิ์ ไอออนต่างๆ ก๊าซจากอุตสาหกรรม เช่น ก๊าซคลอรีน ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซเชื้อเพลิง สารละลายกรด เช่น กรดแร่ต่างๆ ซึ่งได้แก่กรดเกลือ กรดซัลฟูริก กรดไนตริก รวมถึงกรดอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดอะซิติก น้ำมันปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ของน้ำมันปิโตรเลียม และอาหารต่างๆ โดยทั่วไปแล้ว สารประกอบอนินทรีย์จะมีฤทธิ์กัดกร่อนมากกว่าสารอินทรีย์ ตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมจะมีปัญหาการกัดกร่อนจากไฮโดรเจนคลอไรด์ ซัลเฟอร์ กรดเกลือ กรดซัลฟูริกและน้ำมากกว่าจากน้ำมันเนฟทาหรือก๊าซโซลีน

แนวโน้มของการกัดกร่อน การใช้โลหะกลางแจ้งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทางด้านสถาปัตยกรรมและการก่อสร้างอาคารสถานที่และสิ่งสาธารณะต่างๆ ขณะที่คุณภาพของบรรยากาศมีแนวโน้มที่จะมลพิษมากขึ้น ดังนั้นการใช้งานดังกล่าวจึงต้องมีการดูแลและบำรุงรักษาจากผู้ที่มีการประกอบกิจการทั้งวิธีการดูแลและวิธีแก้ปัญหาคัดกร่อนโลหะผสมชนิดใหม่ๆ จะมีเอกสารอ้างอิงหรือรายงานปัญหาการใช้งานและการแก้ปัญหาไม่มากนัก ผู้ใช้งานในกรณีนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงการจัดการให้ใช้งานได้เหมาะสม ปัญหาการกัดกร่อนของวัสดุใหม่ๆ ในปัจจุบันจะเป็นปัญหาในอนาคตได้ถ้าการแก้ปัญหาการกัดกร่อนเป็นไปอย่างมีระบบและมีการบันทึกเผยแพร่อยู่ตลอดเวลาความร่วมมือของนักวิชาการหลายวงการ เช่น นักโลหวิทยา นักเคมี นักฟิสิกส์ นักวัสดุศาสตร์ วิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ทั้งในและนอก ที่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลและเทคนิคต่างๆเป็นแนวโน้มในอนาคตของการดูแลการกัดกร่อน การเลือกใช้วัสดุเพื่อป้องกันการกัดกร่อนควรเป็นคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญการกัดกร่อน โดยมีการระบุไว้ในขั้นตอนการออกแบบให้ชัดเจนถึงขั้นตอนการเลือกใช้วัสดุ นอกจากนั้นควรมีการกำหนดการทดสอบการกัดกร่อนไว้ในกาการกัดกร่อนคุณภาพและการตรวจรับวัสดุอุปกรณ์และครุภัณฑ์ต่างๆด้วย

การกัดกร่อน (Corrosion) หมายถึงการเสื่อมสภาพของโลหะจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือเคมีไฟฟ้าของโลหะกับสิ่งแวดล้อมโลหะ โลหะส่วนใหญ่ปรากฏในธรรมชาติในรูปของสารประกอบโลหะหรือที่เรียกว่า สนิแร่ การถลุงโลหะจากสินแร่ต้องใช้พลังงานไปจำนวนหนึ่ง

และพลังงานจำนวนนั้นจะคายออกจากโลหะสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อโลหะเกิดการกัดกร่อน ดังนั้น การกัดกร่อนจึงเป็นปรากฏการณ์ที่โลหะเปลี่ยนจากสารที่มีธาตุเดียวของโลหะไปเป็นสารประกอบของโลหะที่อาจเป็นชนิดเดียวกันหรือคล้ายคลึงกับสินแร่ที่นำไปถลุงจึงอาจกล่าวได้ว่า การกัดกร่อนคือปฏิกิริยาคู่ขนานของการถลุงโลหะนั้นเอง

สินแร่เหล็กส่วนใหญ่เป็นสารประกอบของเหล็กออกไซด์ ดังนั้นเมื่อใช้เหล็กแล้วเกิดการกัดกร่อนจากการสัมผัสกับน้ำและออกซิเจนเกิดเป็นสนิมเหล็กซึ่งก็คือสารประกอบเหล็กออกไซด์นั่นเอง ส่วนวัสดุโลหะเช่น เซรามิก เป็นสารประกอบของอ็อกไซด์โลหะกับอ็อกไซด์ในธรรมชาติ เช่น ออกไซด์ ซิลิเกตเช่น ที่มีในสินแร่ต่างๆ วัสดุเซรามิกจึงมีเสถียรภาพมากคือไม่ค่อยเกิดปฏิกิริยากับสิ่งที่แวดล้อมอยู่ แต่ก็เกิดการเสื่อมสภาพได้จากการเปลี่ยนแปลงสมบัติกายภาพโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงได้จากการถูกกระทำด้วยแรงทางกลหรือแรงกระทบดังนั้นพฤติกรรมการณ์เสื่อมสภาพของเซรามิกจึงแตกต่างจากพฤติกรรมการณ์กัดกร่อนของโลหะ

การกัดกร่อนเป็นการเสื่อมสภาพของโลหะ โดยเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับบรรยากาศแวดล้อมที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนอาจเป็นปฏิกิริยาเคมีหรือไฟฟ้าเคมี การกัดกร่อนเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบบางครั้งเห็นได้ชัดและป้องกันได้ง่าย บ่อยครั้งจะสังเกตและป้องกันได้ยาก

การกัดกร่อนหรือการผุกร่อน (Corrosion) หมายถึงการที่โลหะทำปฏิกิริยากับบรรยากาศแวดล้อมทำให้สูญเสียเนื้อของโลหะไปบางส่วน เนื้อโลหะที่สูญเสียไปอาจเกิดเป็นสารประกอบเรียกว่า (Corrosion products) จะมีเสถียรภาพดีกว่าโลหะในบรรยากาศนั้นๆ ตัวอย่าง Corrosion Products ที่เราจะพบเห็นเป็นประจำได้แก่ สนิมเหล็ก แม้ว่าวัสดุชนิดอื่นๆที่ไม่ใช่โลหะเช่น พลาสติก ปูนซีเมนต์หรือคอนกรีต จะเกิดการเสื่อมสภาพในลักษณะคล้ายกับการกัดกร่อนแต่โดยทั่วไปแล้วการกัดกร่อนจะหมายถึงการกัดกร่อนของโลหะ

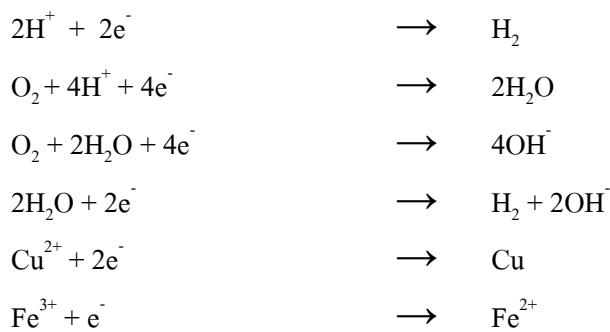
การกัดกร่อนแบ่งได้เป็น ๒ กลุ่มคือ การกัดกร่อนแบบชื้น (Wet หรือ Aqueous Corrosion) และการกัดกร่อนแบบแห้ง (Dry Corrosion หรือ Oxidation) การกัดกร่อนแบบชื้นหรือสารละลายเป็นองค์ประกอบ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) การกัดกร่อนแบบชื้นจะเกิดได้ต้องมีเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ครบวงจร ส่วนการกัดกร่อนแบบแห้งไม่จำเป็นต้องอาศัยความชื้นและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาเคมีโดยตรงซึ่งปกติแล้วเป็นปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับก๊าซ โดยทั่วไปแล้วถ้าเราพูดถึงการกัดกร่อนเราจะหมายถึงการกัดกร่อนแบบชื้น

๒.๑ หลักของการกัดกร่อน

โลหะจะเกิดการกัดกร่อนขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมทำตัวเป็นอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และทำให้เกิดแคโทด (Cathode) และอะโนด (Anode) ซึ่งที่ผิวโลหะเป็นผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

ไหลระหว่างคะโทดและอะโนดนั้นได้ ปฏิกิริยาเคมีทางไฟฟ้าทางเคมีเช่นนี้ จะทำให้โลหะบริเวณที่เป็นอะโนดถูกกัดกร่อนไป การเกิดปฏิกิริยาหรือการกัดกร่อนที่สมบูรณ์ต้องมีการให้และการรับอิเล็กตรอน (Electron) ปฏิกิริยาที่มีการให้และการรับอิเล็กตรอนว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) ขั้วอิเล็กโทรด (Electrode) ที่ให้อิเล็กตรอนสูญเสียอิเล็กตรอน เรียกว่า อะโนด โดยที่อะโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ขั้วอิเล็กโทรดที่รับอิเล็กตรอน เรียกว่าคะโทดและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) กล่าวโดยสรุปคือการที่การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นได้จะต้องเกิดเซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Cell) ที่สมบูรณ์ครบวงจร คือ จะต้องมียอะโนด คะโทด อิเล็กโทรไลต์และตัวนำไฟฟ้า คะโทดและอะโนดอาจเป็นโลหะ ๒ แห่งแยกกันหรืออาจเกิดขึ้นในโลหะแห่งเดียวกันหากส่วนผสมทางเคมีของโลหะนั้นไม่สม่ำเสมอ

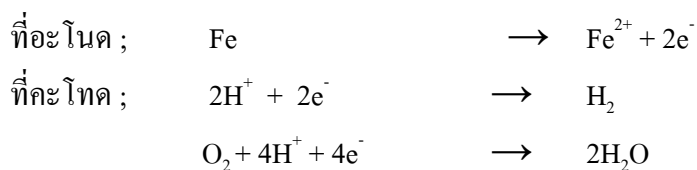
ปฏิกิริยา Reduction ซึ่งเกิดขึ้นที่คะโทดเป็นไปได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมและอิเล็กโทรไลต์เช่น



ปฏิกิริยา Oxidation ซึ่งเกิดขึ้นที่อะโนดโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของ

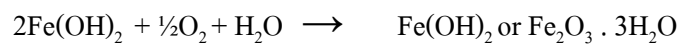
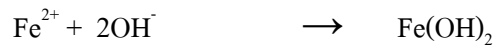


ปฏิกิริยาโดยรวมของเซลล์จะได้จากการนำปฏิกิริยาที่อะโนดและคะโทดมาควบบัน ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำและผิวโลหะอธิบายได้โดย ผิวโลหะขึ้นเดียวกันจะมีสารมลทิน หรือส่วนประกอบทางเคมีต่างกันเป็นจุดๆ ทำให้จุดเหล่านี้มีศักย์ภาพทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Potential) บริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าจะกลายเป็นอะโนด ในกรณีของ Carbon Steel ที่สัมผัสกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



ปฏิกิริยาหลักที่คะโทดจะเป็นปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน อันเป็นปกติของน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่เต็มที่ ในขณะที่ pH จะเป็นกลางจนถึงด่างอ่อนๆ จึงมีความเข้มข้นของ H^+ ต่ำ

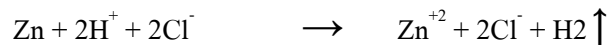
เมื่อ Fe^{2+} จากอะโนดพบกับ OH^- จากคะโทด ก็จะรวมตัวกันเป็น $Fe(OH)_2$ ซึ่งจะถูกออกซิเจนในน้ำออกซิไดร์อย่างรวดเร็วกลายเป็น $Fe(OH)_3$ หรือ $Fe_2O_3 \cdot 2H_2O$ มีสีน้ำตาลแดง เรียกกันทั่วไปว่า สนิม



หรือเป็นกรณีที่เป็นสังกะสีสุกก่อนในกรดเกลือสมการเคมีรวมเขียนได้เป็น



หรือเขียนแยกเป็น



หรือเขียนอย่างง่าย



หากแยกเขียนเป็นปฏิกิริยาที่อะโนดเขียนได้เป็น



ปฏิกิริยาที่คะโทดเขียนได้เป็น



แนวโน้มการสูญเสียอิเล็กตรอนของธาตุแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกัน การวัดแนวโน้มดังกล่าวทำได้โดยต่อโลหะนั้นๆ เข้ากับเครื่องเซลล์มาตรฐานหรือ (SHE) แล้ววัดค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้ว (Electrode Potential) ค่าที่ได้เรียกว่า ค่าความต่างศักย์มาตรฐาน (Standard Electrode Potential) ซึ่งเป็นตัวบอกความเป็นอะโนดและคะโทดของโลหะแต่ละชนิดต่างๆ

๒.๒ รูปแบบของการกัดกร่อน

๒.๒.๑ การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform Attack) เป็นรูปแบบสามัญที่สุดของการกัดกร่อนซึ่งจะพบเห็นทั่วไป การกัดกร่อนดำเนินไปอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวโลหะ การกัดกร่อนแบบนี้ทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อโลหะมากที่สุด อย่างไรก็ตามการกัดกร่อนแบบนี้ไม่เป็นปัญหาด้านเทคนิคมากนัก เนื่องจากเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ วิศวกรผู้ออกแบบสามารถคำนวณอายุการใช้งานหรือขนาดของวัสดุอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

๒.๒.๒ การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion) เกิดขึ้นเมื่อโลหะต่างชนิดกันสัมผัสหรือต่อกันในสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ โลหะมีตระกูล (Noble) จะทำหน้าที่เป็นแคโทด การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นที่โลหะที่เป็นอะโนด โลหะสองชนิดอาจจะเป็นโลหะชนิดเดียวกันแต่มีความแตกต่างในส่วนประกอบของโลหะก็ได้ โลหะชนิดใดเป็นอะโนดหรือแคโทด โดยจะดูได้จากจากรายอนุกรมกัลวานิก (Galvanic Series) ความรุนแรงของการกัดกร่อนมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของโลหะทั้งสองด้วย โดยหากพื้นที่ผิวของแคโทดยิ่งมากกว่าพื้นที่ของอะโนด Galvanic Corrosion ก็จะเกิดรุนแรงขึ้น ในทางกลับกันหากพื้นที่ผิวของอะโนดมากกว่าแคโทด ความรุนแรงของ Galvanic Corrosion ก็จะลดลงตามส่วน เช่น เครื่องเปลี่ยนความร้อน (Shell and Tube Heat Exchanger) ที่ทำด้วยท่อโลหะอลูมิเนียม โดยมีตัวช่วยรองรับ (Baffle) เป็นเหล็ก ทำให้เกิดเป็น Galvanic cell ขึ้น อลูมิเนียมซึ่งเป็นอะโนดเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กจะมีการกัดกร่อนขึ้น

๒.๒.๓ การกัดกร่อนแบบขัดสี (Erosion Corrosion) เป็นการกัดกร่อนของโลหะเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของสารกัดกร่อนผ่านผิวโลหะอย่างรวดเร็ว (High Turbulence Intensity) จึงมีผลในลักษณะการขัดสีร่วมด้วย เช่น ในท่อลำเลียงของการไหลต่างๆ ลักษณะของการกัดกร่อนแบบนี้จะเห็นเป็นคลื่นเป็นร่องเป็นหลุมกลมหรือเป็นแอ่ง การมีของไหลไหลผ่านผิวโลหะด้วยความเร็วสูงจะทำให้ Corrosion Products เช่น ฟิล์มต่างๆ ถูกชะล้างไปด้วยเป็นผลให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

๒.๒.๔ การกัดกร่อนในที่อับ (Crevice Corrosion) เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในบริเวณของโลหะที่เป็นช่องแคบๆ หรือบริเวณที่ถูกปกปิด เช่น ที่ Sheet Support บริเวณใต้ Deposit บริเวณที่อยู่ใต้น้ำหรือใต้หมวกของประตูหรือตะเข็บรอยต่อของโลหะ เป็นต้น บริเวณที่เป็นช่องแคบๆหรือที่อับซึ่งสารละลายหยุดนิ่งนี้ จะมีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำกว่าบริเวณแวดล้อมด้านนอก ทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้น (Concentration Cell) ระหว่างภายในและภายนอก บริเวณช่องแคบนั้นจะกลายเป็นอะโนดและเกิดการกัดกร่อนขึ้น เมื่อนานเข้าจะมีการสะสมของเกลือโลหะขึ้นที่บริเวณดังกล่าว ทำให้ pH บริเวณนั้นลดลง ซึ่งกระตุ้นให้เกิดการกัดกร่อนมากขึ้นไปอีก

๒.๒.๕ การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) เป็นการกัดกร่อนเฉพาะที่รุนแรงมาก มีผลทำให้เกิดรูหรือหลุมขนาดเล็กแต่ลึกลงไปบนเนื้อโลหะ Pitting เป็นรูปแบบของการกัดกร่อนที่จัดว่าเป็นอันตรายมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียไปโดยน้ำหนักแล้วมีค่าน้อยมากและที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้นคือการหาร่องรอยของการเกิด Pitting นั้นทำได้ยากมากเนื่องจากมีขนาดเล็กและยังถูกปกคลุมไปด้วย Corrosion Products ต่างๆ การกัดกร่อนแบบ Pitting นี้จัดเป็นปฏิกิริยาชนิด Autocatalytic กล่าวคือ ภายใน Pit จะเกิดสถานะที่เป็นทั้งการเร่งปฏิกิริยาและทำให้ Pit เป็นอะโนดมากขึ้น โลหะจะเกิดเป็นรูเนื่องจากสารละลายของเกลือแกงที่มีอากาศละลายอยู่ด้วย โลหะภายใน Pit จะสูญเสียอิเล็กตรอนกลายเป็นไอออน นั่นคือการเกิดการกัดกร่อนอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนเกิดขึ้นที่ผิวของโลหะข้างๆ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่มีลักษณะที่เร่งเร็วด้วยตัวเองและแผ่ขยายด้วยตัวเองอย่างรวดเร็ว

๒.๒.๖ การกัดกร่อนจากการสูญเสียส่วนผสมบางตัว (Selective Leaching) เป็นการกัดกร่อนชนิดที่องค์ประกอบหนึ่งของโลหะผสมที่เป็นอะโนดมากกว่าส่วนผสมอื่นสูญหายไป โดยที่โลหะผสมที่ถูกกัดกร่อนยังคงรูปร่างตามเดิมแต่คุณสมบัติทางกล โดยเฉพาะความเหนียวจะลดลง เช่น Dezincification เป็นการสูญหายของสังกะสีออกจากทองเหลือง Dealuminification เป็นการสูญหายของอลูมิเนียมออกจากโลหะผสมของอลูมิเนียมกับทองแดง เป็นต้น Selective Leaching เป็นไปได้ทั้งสองแบบคือการแยกตัวเสมอกันทั้งผิวและการแยกตัวเฉพาะแห่ง

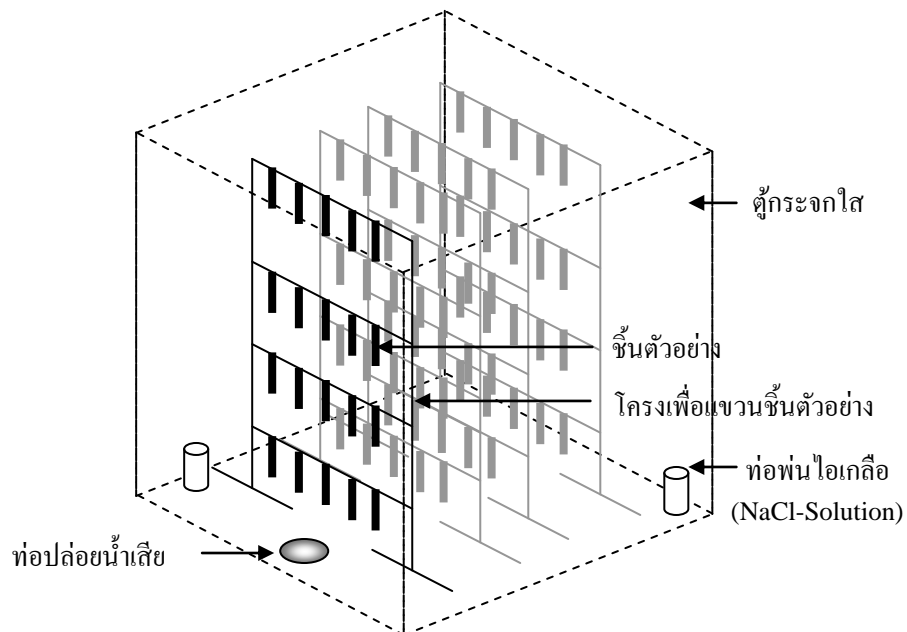
๒.๒.๗ การกัดกร่อนแบบ SCC (Stress Corrosion Cracking) เป็นการแตกร้าวของชิ้นงานที่ความเค้นต่ำเมื่อใช้ในบรรยากาศที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนบางชนิด เช่น สแตนเลสในบรรยากาศที่มีคลอไรด์ เป็นต้น ความเค้นที่ทำให้เกิดการแตกร้าวอาจเป็นความเค้นภายใน (Residual Stress) หรือความเค้นภายนอก (Applied Stress) จากการวิจัยพบว่าสแตนเลสมีปัญหาการกัดกร่อนแบบ SCC มากที่สุด การเกิด SCC มักเริ่มจากการกัดกร่อนที่จุดหนึ่งบนผิวของโลหะแบบ Pitting ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของ SCC ที่ก้นของ Pit จะมีความเค้นเพิ่มมากขึ้นบริเวณอื่นหลายเท่า ทำให้โลหะสามารถแยกออกจากกันได้ง่ายขึ้น ยิ่งหลุมมีขนาดเล็กแหลมมากความเค้นก็จะยิ่งสูงขึ้น นอกจากผลของความเค้นแล้วบริเวณหลุมหรือจุดนี้ยังเป็นอะโนดเมื่อเทียบกับบริเวณข้างเคียงยังทำให้การกัดกร่อนเพิ่มขึ้น

๒.๒.๘ การกัดกร่อนเนื่องจากจุลชีพ (Microbiological Corrosion) จุลชีพที่สำคัญคือ Bacteria, Fungi และ Algae จุลชีพพวกนี้จะสร้าง Biofilm ขึ้นบนผิวโลหะทำให้บริเวณดังกล่าวขาดออกซิเจนและเกิดเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีขึ้น โดยบริเวณที่อยู่ใต้ Biofilm จะเป็นอะโนด นอกจากนี้จุลชีพบางชนิดยังขับถ่ายสารที่เป็นกรดหรือสารเคมีที่ทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อนโดยตรง

นอกจากนี้ยังมีการกัดกร่อนในรูปแบบอื่นๆ อีกเช่น Corrosion Fatigue ซึ่งหมายถึงการที่ชิ้นงานเกิดการแตกร้าอย่างรวดเร็วมื้อรับแรงแบบซ้ำไปซ้ำมาในบรรยากาศแวดล้อมที่เกิดการกัดกร่อน ทั้งนี้เพราะการล้าจะทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อนเร็วขึ้นและการกัดกร่อนจะทำให้เกิดการล้าเร็วขึ้น Fretting Corrosion หมายถึง การกัดกร่อนที่มีการกระทบกระแทกกันของชิ้นงานอยู่ด้วย ทำให้ Corrosion Products หลุดหายไปจากชิ้นงานเร็วกว่าปกติ ในทำนองเดียวกันการกัดกร่อนแบบขี้ดสี Exfoliation หมายถึงการหลุดร่อนของผิวโลหะเป็นแผ่นบางเนื่องจากเกิดการกัดกร่อนเป็นแนวยาวนานกับผิว เป็นต้น

๒.๓ ชุดทดสอบเร่งการกัดกร่อนโลหะแบบพ่นไอเกลือ (Salt Spray Test Cabinet)

ชุดเครื่องมือทดสอบเร่งการกัดกร่อนโลหะ (Accelerated Corrosion Experiments) โดยมีรูปแบบจำลองชุดทดสอบแบบพ่นไอเกลือ (Salt Spray Test Cabinet) ดังรูปที่ ๒.๑



รูปที่ ๒.๑ แบบจำลองชุดทดสอบแบบพ่นไอเกลือ (Salt Spray Test Cabinet)

๒.๔ มาตรฐานสำหรับวิธีการทดสอบพ่นไอเกลือ

มาตรฐานที่กำหนดในการทดสอบด้วยวิธีพ่นไอเกลือนี้จะใช้มาตรฐาน B 117 ในการทดสอบ มาตรฐานนี้ได้รับการยืนยันโดยตัวแทนของแผนกป้องกันการกัดกร่อน แทนมาตรฐาน 811.1 ของสถาบันทดสอบมาตรฐาน

๑. อธิบายถึงการใช้อุปกรณ์ ขั้นตอน และสภาวะที่ต้องทำการทดสอบ สภาพแวดล้อมที่จะสร้างละอองน้ำเกลือ

๒. การกำหนดมาตรฐานจะถูกกำหนดไว้ในหน่วย SI

๓. มาตรฐานนี้ทดสอบด้วยความปลอดภัย การกำหนด การควบคุม ก่อนที่จะทำการทดสอบ คือหน้าที่ที่ผู้ทำการทดสอบต้องรับผิดชอบ

๒.๕ มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐาน ASTM Standards ที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบได้แก่

American Society for Testing and Materials, ASTM B117 – 95, Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus Annual Book of ASTM Standards

American Society for Testing and Materials, ASTM B 368, Method for Copper-Accelerated Acetic Acid-Salt Spray (Fog) Testing (CASS Test) Annual Book of ASTM Standards

American Society for Testing and Materials, ASTM D 609, Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products Annual Book of ASTM Standards

American Society for Testing and Materials, ASTM E 70, Test Method for pH of Aqueous Solutions with the Glass Electrode Annual Book of ASTM Standards

American Society for Testing and Materials, ASTM G 85, Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing Annual Book of ASTM Standards

๒.๖ ความสำคัญและการนำไปใช้

๑. การปฏิบัตินี้จัดให้มีการควบคุมการกัดกร่อนจากสภาพแวดล้อม

๒. ความสัมพันธ์ของการกัดกร่อน การเกิดการกัดกร่อนไม่สามารถคาดได้ว่าเกิดเมื่อไร ดังนั้นจึงควรพิจารณาจากผลการทดสอบที่ทำการทดสอบ

๓. ละอองน้ำเกลือทำให้เกิดปฏิกิริยากับวัสดุที่นำมาทดสอบขึ้นอยู่กับประเภทของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ การประเมินผลการทดสอบ รวมไปถึงการควบคุมการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะทดสอบที่ระยะเวลาต่างกัน เพื่อให้เห็นถึงสภาพของตัวอย่างที่นำมาทดสอบแตกต่างกันไป

๒.๗ ข้อควรปฏิบัติในการทำเครื่องทดสอบ

๒.๗.๑ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทำเครื่องทดสอบพ่นไอเกลือ ประกอบไปด้วย ห้องหมอก หัวฉีดละอองน้ำเกลือ การจัดสภาวะที่เหมาะสมภายในเครื่องทดสอบ การจัดเตรียมตัวอย่าง การควบคุมอุณหภูมิความร้อนภายในเครื่องทดสอบ และการควบคุมอื่นที่มีผลต่อการทดสอบ ขนาดและรายละเอียดในการทำเครื่องทดสอบ

๒.๗.๒ การพ่นไอเกลือต้องทำการจัดวางตัวอย่างที่ทำการทดสอบให้เหมาะสม โดยให้ละอองน้ำเกลือโดนตัวอย่างโดยทั่วผิวน้ำ

๒.๗.๓ น้ำที่ถูกตัวอย่างที่ทำการทดสอบแล้วจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้

๒.๗.๔ วัสดุที่นำมาทำเครื่องทดสอบจะต้องสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดี หรือมีผลกระทบต่อกรกัดกร่อนน้อยที่สุด

๒.๘ การทดสอบตัวอย่าง

ชนิดและจำนวนตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบรวมถึงมาตรฐานการประเมินผลการทดสอบ จะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน

๒.๘ การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

๑. ตัดขนาดตัวอย่างให้ได้ตามขนาดที่ต้องการก่อนทำการทดสอบ
๒. ขัดผิวน้ำของตัวอย่างที่จะทำการทดสอบให้สะอาดปราศจากคราบสนิม
๓. ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบจะต้องสะอาด ปราศจากไขมัน วิธีทำความสะอาดคราบไขมันโดยการล้างด้วยอะซิโตน

๒.๑๐ ตำแหน่งการวางตัวอย่างทดสอบ

๑. ตำแหน่งการวางชิ้นตัวอย่างในเครื่องทดสอบจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และจะต้องทำการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องทดสอบให้อยู่ที่ ๓๕ องศาเซลเซียส

๒. ตัวอย่างทดสอบจะต้องไม่ติดกับวัตถุหรือโลหะอื่นๆ ซึ่งจะเป็นตัวนำทำให้เกิดปฏิกิริยา

๓. จากตัวอย่างทดสอบน้ำเกลือจะต้องไม่ไหลหยดลง ไปอีกตัวอย่างหนึ่ง

๒.๑๑ การเตรียมสารละลายน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์

1. การเตรียมสารละลายน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ๕ กรัม ต่อน้ำ ๕๕ กรัม
2. การวัดค่า pH จะทำการวัดด้วยเครื่อง pH มิเตอร์ จะทำการวัดที่อุณหภูมิ ๔๐-๕๐ องศาเซลเซียส และค่า pH ที่วัดได้จะต้องอยู่ระหว่าง ๖.๕ – ๗.๒
3. ในการทำการละลาย/สารละลายโซเดียมคลอไรด์ควรจะมีการคั่นน้ำให้เดือดมากกว่า ๓๕ องศาเซลเซียสแล้วจึงจะทำการเทสารละลายโซเดียมคลอไรด์ลงไปแล้วทำการคนสารละลายให้ละลายให้หมด

๒.๑๒ สภาพอากาศภายในเครื่องทดสอบ

จะต้องทำการไล่อากาศออกจากเครื่องทดสอบให้หมดเสียก่อน ก่อนที่จะทำการทดสอบ โดยการใส่น้ำที่บริเวณฝาปิดเครื่องทดสอบ เมื่อปิดฝาแล้วทำการเปิดวาล์ว จากนั้นจึงปิดเพื่อไล่อากาศออกให้หมด

๒.๑๓ อุณหภูมิภายในเครื่องทดสอบ

๑. อุณหภูมิภายในเครื่องทดสอบจะถูกรักษาระดับไว้ที่ ๓๕ องศาเซลเซียส ไม่ควรเปิดฝาเครื่องทดสอบอย่างน้อยก่อน ๗ ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับเหล็กที่นำมาทดสอบ
๒. ปริมาณไอเกลือจะต้องสะอาดปราศจากสิ่งสกปรก และจะต้องโดนน้ำให้เต็มผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบ

๒.๑๔ การระเหยของไอเกลือ

ฝาของเครื่องทดสอบควรมีส่วนเว้าหรือ โคง้เพื่อที่เวลาไอเกลือพ่นขึ้นไปจะได้นำกลับมาโดนชิ้นตัวอย่างทดสอบ ในการทำการทดสอบไม่ควรเปิดฝาเพราะจะทำให้อากาศที่อยู่ภายนอกเข้าไปได้ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้ กระบวนการทดสอบจะทำการอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปิดฝาจันกระทั่งพ่นไอเกลือการเคลื่อนย้ายตัวอย่างทดสอบจะต้องจดบันทึกลงในรายงานซึ่งจะเป็นไปตามที่ตารางกำหนดการหยุดชะงักของเครื่องจะเกิดขึ้นได้เพียงเล็กน้อย

๒.๑๕ การทำความสะอาดตัวอย่างการทดลอง

๑. ตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะต้องเป็นวัสดุที่อยู่ในมาตรฐานการทดสอบ

๒. การเคลื่อนย้ายตัวอย่างทดสอบจะต้องทำการเคลื่อนย้ายอย่างระมัดระวัง โดยการสวมถุงมือ เพื่อป้องกันคราบไขมัน

๑. ทำความสะอาดล้างคราบไขมันด้วย อะซิโตน

๔. การทำความสะอาดหลังจากทำการทดลองเสร็จ ล้างด้วยน้ำประปาสะอาดอุณหภูมิไม่เกิน ๓๘ องศาเซลเซียส เพื่อที่จะได้ขจัดตะกอนเกลือออกจากพื้นผิวและทำให้แห้งทันทีที่ล้างเสร็จ

๒.๑๖ ความสำคัญที่เกี่ยวกับเครื่องทดสอบ

การควบคุมสิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน, เงื่อนไขของการกัดกร่อน, การขาดหายไปของมวลวัสดุ

๒.๑๗ โครงสร้างของเครื่องมือและอุปกรณ์

๒.๑๗.๑ เครื่องทดสอบ

๑. จะต้องทำการประกอบเครื่องทดสอบให้เสร็จก่อนที่จะทำการทดลองและจัดเตรียมอุปกรณ์ให้เรียบร้อยเพื่อที่จะทำการทดลอง

๒. เครื่องทดสอบจะต้องประกอบไปด้วย ตัวควบคุมควบคุมอากาศ สารละลาย โซเดียมคลอไรด์ หัวฉีดละอองน้ำเกลือ ตัวทำความร้อนและตัวควบคุมอุณหภูมิ

๑. เครื่องมือควบคุมการไหลของละอองน้ำเกลือที่ดีควรจะสามารถปรับแก้ได้

๔. ขนาดและรูปร่างของเครื่องทดสอบจะเป็นอย่างไรก็ตาม ละอองและปริมาณน้ำเกลือผลที่เก็บรวบรวมได้จะอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของการทดลอง

๕. ตู้ทดสอบจะต้องทำจากวัสดุที่เหมาะสมไม่มีปฏิกิริยาตอบสนอง เช่น พลาสติก แก้ว หิน หรือ สร้างจากโลหะ ยาง หรือ วัสดุจำพวกเรซิน หรือวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน

๖. ท่อภายในเครื่องทดสอบจะต้องถูกละอองน้ำเกลือดังนั้นท่อที่นำมาใช้จะต้องทำจากวัสดุที่ไม่เกิดปฏิกิริยา เช่น พลาสติก PVC ช่องระบายอากาศควรจะเป็นท่อที่มีขนาดใหญ่เพื่อที่จะได้ให้แรงดันอากาศออกไปได้ ที่ปลายท่อควรมีวาล์วปิดเปิดเพื่อป้องกันอากาศหรือแรงดันกลับเข้าไปในเครื่องทดสอบได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความกดอากาศหรือสูญญากาศภายในตู้

๒.๑๗.๒ ตัวควบคุมอุณหภูมิ

๑. การรักษาอุณหภูมิภายในเครื่องทดสอบสามารถทำได้หลายวิธี โดยทั่วไปจะควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องทดสอบ จะรักษาอุณหภูมิเอาไว้ให้ได้คงที่ โดยการติดตั้งอุปกรณ์ภายในเครื่องทดสอบทำให้สามารถรักษาอุณหภูมิไว้ให้ได้คงที่อยู่เสมอ

๒. การใช้ขดลวดไฟฟ้าหรือใช้เครื่องทำความร้อนจะต้องระมัดระวังอย่าให้ร้อนมากเกินไป เพราะผลจากปฏิกิริยาในการเดือดระเหยเป็นไอและรังสีความร้อนที่แผ่ออกไปโดนตัวอย่างการทดสอบ

ตารางที่ ๒.๑ คุณสมบัติระบบปฏิบัติการของการพันละออง

ระดับความสูง cm.	การไหลของอากาศ (dm ³ /min)				ปฏิกิริยาตัวทำละลาย (cm ³ /h)			
	แรงดันอากาศ (kPa)				แรงดันอากาศ (kPa)			
	34	69	103	138	34	69	103	138
10	19	26.5	31.5	36	2100	3840	4584	5256
20	19	26.5	31.5	36	636	2760	3720	4320
30	19	26.5	31.5	36	0	1380	3000	3710
40	19	26.6	31.5	36	0	780	2124	2904

ระดับความสูง cm.	การไหลของอากาศ (L/min)				ปฏิกิริยาตัวทำละลาย (mL/h)			
	แรงดันอากาศ (psi)				แรงดันอากาศ (psi)			
	5	10	15	20	5	10	15	20
4	19	26.5	31.5	36	2100	3840	4584	5256
8	19	26.5	31.5	36	636	2760	3720	4320
12	19	26.5	31.5	36	0	1380	3000	3710
16	19	26.6	31.5	36	0	780	2124	2904

๒.๑๗.๓ หัวฉีดละอองน้ำเกลือ

๑. หัวฉีดควรทำจากยางที่แข็งหรือพลาสติกหรือวัสดุอื่น ๆ ที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับน้ำเกลือ

๒. การลดปริมาณสารละลายระหว่างการทำทดสอบจะทำให้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ฉีดออกมาเบาบางอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นสารละลายในน้ำเกลือจะต้องรักษาให้คงที่อยู่เสมอ

๓. หัวฉีดละอองน้ำเกลือควรเป็นละอองหรือหยดน้ำเล็กๆ จำเป็นจะต้องให้โคนตัวอย่างทดสอบและป้องกันหยดน้ำนั้นที่โคนตัวอย่างทดสอบแล้วไม่หยดลงมาโคนตัวอย่างทดสอบอีก ควรติดตั้งหัวฉีดให้อยู่ตรงกลางของเครื่องทดสอบ

๒.๑๗.๔ อากาศที่ทำให้เกิดละออง

๑. อากาศที่ทำให้เกิดละอองจะต้องปราศจากสิ่งสกปรกเช่น คราบไขมัน โดยการกรองผ่านเครื่องกรองก่อนที่จะใช้ ถ้าอุณหภูมิของน้ำถูกควบคุมอย่างเหมาะสมก็จะเกิดความกดอากาศร้อน เกิดความชื้น ระดับน้ำจะต้องรักษาให้คงที่อยู่เสมอเพื่อที่จะได้แน่ใจว่าเพียงพอที่จะทำให้อากาศชื้น โดยจะมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง ๒๕ - ๒๘ % ถ้าสารละลายน้ำเกลือตั้งแต่ ๒ - ๖ % ก็จะทำให้มีผลเหมือนตารางที่ ๒.๒ แสดงอุณหภูมิที่ความกดดันอากาศต่างกัน ซึ่งอุณหภูมิจะแทนผลกระทบของความชื้นที่แผ่ขยายไปในความกดอากาศ

๒. การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของละอองอากาศได้เข้าไปแทนที่ความร้อนที่สูญเสียไปจึงทำให้บรรยากาศภายในห้องทดสอบคงที่ ยกเว้นจะถูกแทนที่ด้วยสิ่งอื่นๆ ที่ระดับอุณหภูมิต่ำมากๆ

๒.๑๗.๕ โครงสร้างของเครื่องทดสอบ

มาตรฐานของผู้ทดสอบ ฝาปิดของของผู้ทดสอบจะต้องสร้างให้มีความลาดเอียงและวางอยู่อย่างเหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงการสะสมของละอองน้ำที่ติดบนฝาเพื่อที่ละอองน้ำจะได้ไหลย้อนกลับลงมา หัวฉีดจะติดตั้งอยู่บริเวณตรงกลางผู้ทดสอบ จำนวนของหัวฉีดจะขึ้นอยู่กับชนิด ความจุ และจะสัมพันธ์กับพื้นที่ในการทดลอง

๒.๑๘ การใช้ละอองน้ำเกลือทดสอบในงานวิจัย

๒.๑๘.๑ การทดลองเพื่อเป็นการยอมรับคุณภาพตรงตามคุณสมบัติของขบวนการ และการประยุกต์ใช้ก็เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำให้ผลการทดลองสัมพันธ์กับผลความเป็นจริง

๒.๑๘.๒ ละอองน้ำเกลือที่ถูกใช้ในการทดสอบเพื่อจุดประสงค์ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของวัสดุและผลการทดลอง ควรจะจดบันทึกผลการทดลองเอาไว้ โดยปกติแล้วความต้านทานของละอองน้ำเกลือกับความต้านทานการกัดกร่อนจะไม่สัมพันธ์โดยตัวกลางอื่นๆ เพราะ

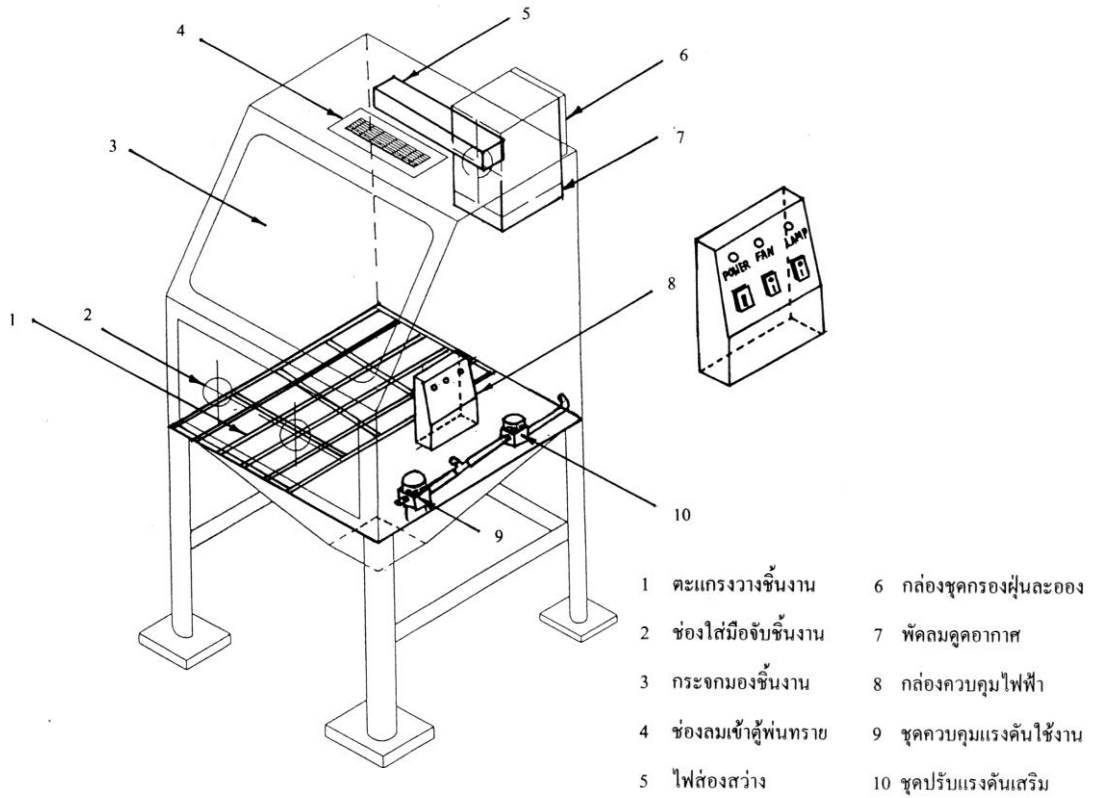
ปฏิกิริยาเคมีรวมถึงองค์ประกอบของสารเคลือบและความสามารถในการป้องกันของสารเคลือบ ผู้ทำการทดลองควรคำนึงถึงความเบี่ยงเบนของส่วนประกอบโลหะผสม ความเป็นไปได้ของความแตกต่างของคุณภาพและความหนาของโลหะที่ผลิตออกมาจากที่เดียวกัน เวลาเดียวกัน และสรุปผลที่แน่นอนของจำนวนตัวอย่างที่มีจำนวนเพียงพอที่จะนำมาเป็นตัวอย่างสำหรับจุดประสงค์ในการทดลอง จากการทดลองที่ต่อเนื่องสามารถอธิบายได้ว่า การทดลองด้วยมาตรฐาน ASTM B117 ไม่สามารถนำไปประยุกต์ในการศึกษาหรือการทดลองกับแผ่นโลหะที่มีโครเมียม แคดเมียม ผสมอยู่ได้ สำหรับจุดประสงค์ของมาตรฐาน B368 และมาตรฐาน G85 เพื่อที่จะเปรียบเทียบกับลูมิเนียมที่ทำจากสารเคมี chromate, phosphate หรือ anodized มาตรฐาน B117 และ G 85 เป็นประโยชน์มากในการประเมินปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กันของวัสดุกับบรรยากาศในน้ำทะเล เพราะว่าเป็นการจำลองสภาพพื้นฐาน ด้วยการเร่งโดยตรงไปที่ความชื้นหรืออุณหภูมิ

ตารางที่ ๒.๒ ปฏิบัติการทดสอบระหว่างอุณหภูมิกับความดัน

	แรงดันอากาศ (kPa.)			
	83	96	110	124
อุณหภูมิ °C	46	47	48	49
	แรงดันอากาศ (psi.)			
	12	14	16	18
อุณหภูมิ °F	114	117	119	121

๒.๑๕ ชุดทดสอบระบบเครื่องพ่นทราย (Sand Ejection Machine)

ชุดทดสอบระบบเครื่องพ่นทราย (Sand Ejection Machine) โดยมีรูปแบบจำลองชุดทดสอบ ดังรูปที่ ๒.๒



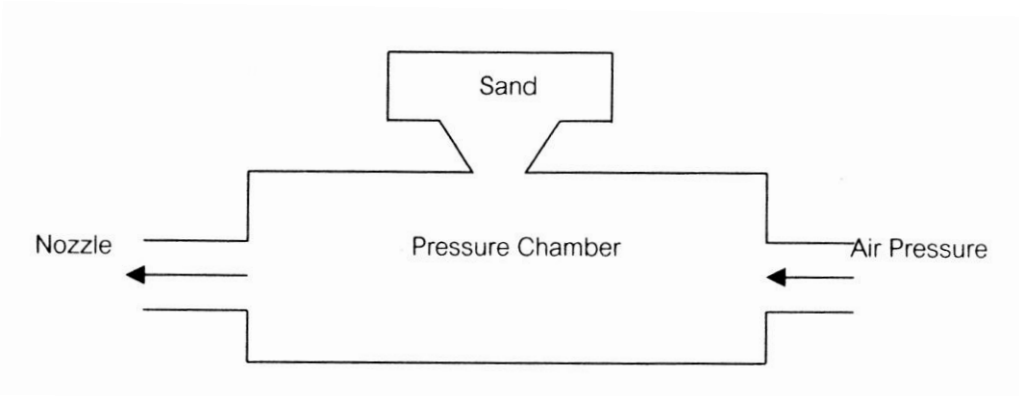
รูปที่ ๒.๒ แบบจำลองชุดทดสอบระบบเครื่องพ่นทราย (Sand Ejection Machine)

ระบบของเครื่องพ่นทรายที่ใช้กันในปัจจุบัน จำแนกได้ ๒ ระบบตามหลักการทำงาน คือ

๑. ระบบใช้แรงดันลมอัดหรือระบบปิด (Pressure of Close system)

๒. ระบบใช้แรงดูดสูญญากาศหรือระบบเปิด (Suction or Open system)

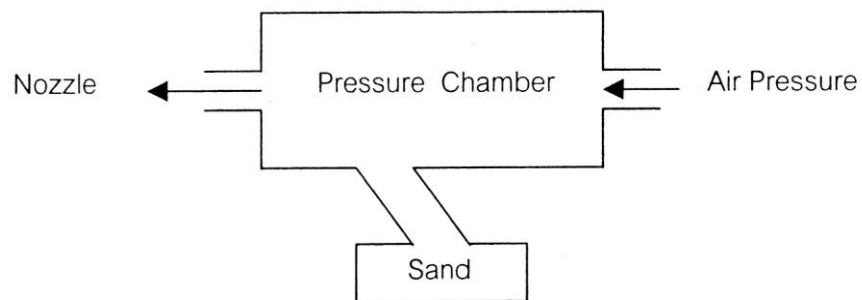
จุดประสงค์ของหลักการทั้ง ๒ นี้ คือ การนำสารพ่นขัดในภาชนะที่บรรจุไว้ วิ่งไปพร้อมกับลมอัดผ่านหัวพ่นด้วยความเร็วไปกระทบกับชิ้นงาน โดยอาศัยหลักการของแรงดันจากลมอัด (Air Pressure)



รูปที่ ๒.๓ แสดงระบบการใช้แรงดันลมอัด

๒.๑๕.๑ ระบบใช้แรงลมอัด (Pressure System) ดังแสดงในรูปที่ ๒.๓ ในระบบนี้ อาศัยแรงดันของลมอัดเป็นพาหนะในการผลักดันสารพ่นชนิดให้เคลื่อนที่ไปพร้อมกับแรงดันของลมอัดในระบบจะถูกปิดเพื่อป้องกันการสูญเสียความดัน เมื่อเกิดอัตราการไหลของลมอัดในทิศทางตามลูกศร การไหลของลมอัดจะแยกเป็นเป็นสองทางไปตามท่อทนความดัน (Line of Pressure) ส่วนหนึ่งไหลไปยังห้องความดัน (Pressure Chamber) และไหลมารวมกันอีกก่อนออกไปหัวฉีด (Nozzle) จากหลักการนี้ ถ้านำสารพ่นชนิดบรรจุในห้องบรรจุทราย สารพ่นชนิดจะไหลลงไปในห้องความดันและถูกแรงดันจากลมอัดผลักดันให้เคลื่อนที่ออกจากหัวฉีด ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของลมอัด อัตราความเร็วและปริมาณลมอัดทั้งท่อเข้าและทางออกจะเท่ากัน (input = output)

๒.๑๕.๒ ระบบใช้แรงดูดสุญญากาศ (Suction System)



รูปที่ ๒.๔ แสดงระบบการใช้แรงดูดของสุญญากาศ

การเคลื่อนย้ายสารพ่นของระบบนี้ อาศัยการดูดสุญญากาศ ซึ่งเกิดจากความเร็วของลมอัดการที่จะทำให้การดูดได้นั้น ภายในระบบจะต้องมีช่องระบายอากาศเข้าแทนที่สุญญากาศ จึงจะเกิดการเคลื่อนที่ได้ เมื่อมีการไหลของลมภายในท่อความดันตามทิศทางลูกศร การเคลื่อนที่ของลมอัดจะไหลไปในทิศทางที่เป็นเส้นตรงหรือทางที่สะดวกกว่าดังนั้นจึงเกิดการดูดอากาศในท่อและห้องสุญญากาศ (Line of Vacuum and Vacuum Chamber) ออกไปได้โดยที่ห้องสุญญากาศต้องเปิดสู่บรรยากาศ ถ้านำสารพ่นชนิดบรรจุไว้ในห้องสุญญากาศให้เต็ม สารพ่นชนิดจะถูกดูดออกไปพร้อมกับลมอัดและถูกผลักดันไปพร้อมกับความเร็วของลมอัด ที่ขนาดความดันและท่อทางเข้ากับท่อทางออกเท่ากัน เนื่องจากระบบต้องสูญเสียปริมาณลมอัดส่วนหนึ่งในการสร้างสุญญากาศ

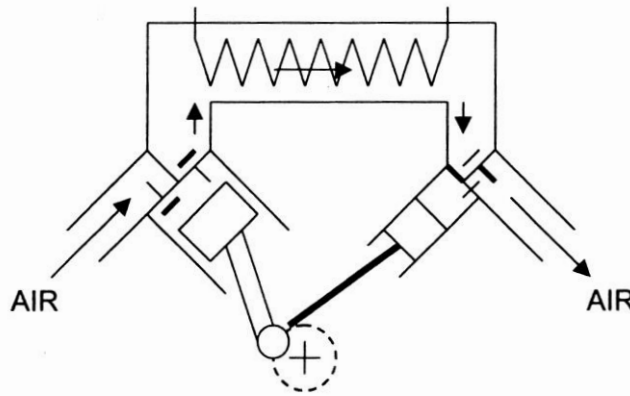
๒.๒๐ เครื่องอัดลม

เครื่องอัดลมเป็นสิ่งสำคัญที่สุดของเครื่องพ่นทราย เพราะเป็นตัวสร้างแรงดันอากาศเพื่อใช้งานให้เกิดกระแสลมวิ่งผ่านในตัวปืนพ่น และทำให้ทรายกระทบชิ้นงานอย่างต่อเนื่องรวมทั้งซูดแยกความชื้น ก็เป็นตัวช่วยในการทำงาน เพราะธรรมชาติของความดันอากาศที่แตกต่าง

กันย่อมมีความชื้น ซึ่งสามารถกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ ดังนั้นชุดแยกความชื้นจึงเข้ามามีบทบาทช่วยกำจัดน้ำออกไป ทำให้อุปกรณ์ในระบบรวมทั้งทราयीมีคุณภาพดีอยู่เสมอ

เครื่องอัดลมแบบลูกสูบ ทำงานโดยการอัดอากาศภายในกระบอกสูบให้มีปริมาตรลดลงเพื่อเพิ่มความดันเพิ่มขึ้น เครื่องอัดลมแบบนี้มีอยู่ ๒ ลักษณะคือ เครื่องอัดลมแบบลูกสูบชัก (Reciprocating Piston Compressor) ดังรูปที่ ๒.๕ และเครื่องอัดลมแบบลูกสูบหมุน (Rotary Piston Compressor)

เครื่องอัดลมแบบลูกสูบสามารถสร้างความดันตั้งแต่ ๔ ถึง ๓๐๐ บาร์ ขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นของการอัดและสามารถจ่ายลมได้ตั้งแต่ ๒ ถึง ๕๐๐ ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ถ้าชั้นของการอัดมากก็จะสามารถสร้างความดันให้สูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ ๒.๕ ลักษณะการทำงานของเครื่องอัดลมแบบลูกสูบ

๒.๒๑ ปริมาณความต้องการลมอัดที่ใช้งาน

จะต้องพิจารณาความต้องการลมอัดที่จะต้องใช้ในปัจุบัน และในอนาคตภายหน้าว่า ต้องการปริมาณลมอัดเพิ่มขึ้นเท่าไร ควรวางแผนล่วงหน้า ๑ - ๒ ปี เมื่อทราบถึงปริมาณความต้องการแน่นอนแล้วก็นำไปหาขนาดของเครื่องอัดลมได้ โดยการคำนวณจากปริมาตรที่เครื่องอัดลมสามารถผลิตได้ ดังต่อไปนี้

$$V_{\text{compressor}} = V \cdot N \cdot n \quad \text{----- (1)}$$

หรือ

$$V_{\text{compressor}} = (\pi/4)d^2 \cdot L \cdot N \cdot n \quad \text{----- (2)}$$

เมื่อ $V_{\text{compressor}}$ คือ ปริมาตรเครื่องอัดลมสามารถผลิตได้ หรือที่เรียก ปริมาตรทางทฤษฎี (V_{th}) มีหน่วยเป็น l / min หรือ m^3 / hr

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ

- L คือ ระยะชักที่ลูกสูบของเครื่องอัดลมเคลื่อนที่
- N คือ ความเร็วรอบของเครื่องอัดลม (rpm)
- n คือ จำนวนลูกสูบของเครื่องอัดลม

แต่สมการที่ ๑ และ ๒ เป็นการคำนวณหาปริมาณทางทฤษฎี จะนำมาจริงไม่ได้เพราะ ปริมาตรลมอัดที่ออกจากเครื่องอัดลมออกจากเครื่องอัดลมมาจะมีค่าน้อยกว่าการคำนวณ ทั้งนี้ เนื่องจากการสูญเสียในการดูดอากาศเข้ามาในเครื่องอัดลม ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้ปริมาณที่ เครื่องอัดลมผลิตได้จริง ซึ่งหาได้จากสมการดังนี้

$$V_{\text{acture}} = V_{\text{th}} \cdot \eta_v \quad \text{----- (3)}$$

- โดยที่ V_{acture} คือ ปริมาตรลมอัดที่ออกจากเครื่องอัด
- V_{th} คือ ปริมาตรลมอัดที่คำนวณได้ทางทฤษฎี
- η_v คือ ประสิทธิภาพทางปริมาตร

หรืออาจใช้ตารางที่ ๒.๓ สำหรับการเลือกขนาด และชนิดของเครื่องอัดลม คือถ้าทราบปริมาตรความต้องการลมอัด

ในบางครั้งเพื่อความสะดวกแก่การจำในการเลือกขนาดของเครื่องอัดลม คือ ถ้าต้องการลมอัด ๑๐๐ ลิตร/นาที ที่ความดัน ๖ บาร์จะใช้เครื่องอัดลมขนาด 0.746 kW. หรือ 1 HP. (ค่านี้เป็นค่าที่ประมาณใกล้เคียงเท่านั้น)

ตารางที่ ๒.๓ การเลือกขนาดและชนิดของเครื่องอัดลม

ความต้องการการอัดลม (ลิตรต่อนาที)	กำลังของเครื่องอัดลม (กิโลวัตต์)	ชนิดของเครื่องอัดลม
2,800	7.5 ถึง 18.5	แบบลูกสูบชัก
34,000	18.5 ถึง 225	แบบลูกสูบชักหรือแบบสกรู
85,000	225 ถึง 450	แบบลูกสูบชักหรือแบบสกรูเหวี่ยง
180,000	450 ถึง 935	แบบลูกสูบชักหรือแบบใบพัดหมุน
510,000	935 ถึง 2450	แบบใบพัดหมุน

ระยะทางของท่อลมที่ส่งไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งจะมีผลต่อการเลือกขนาดของเครื่องอัดลม เพราะถ้าระยะทางไกลมากจะมีผลต่อความดันตกคร่อมของระบบ ในระบบการเดินท่อของนิวเมติกโดยทั่วไปความยาวท่อไม่ควรเกิน ๑,๐๐๐ เมตรซึ่งรวมถึงการคิดค่าความดันตกคร่อมข้อต่อต่างๆ ที่คิดออกมาในรูปความยาวเส้นตรงความดันตกคร่อมในระบบการเดินท่อของนิวเมติก (คิดจากเครื่องอัดลมถึงเครื่องจักรที่ใช้งาน) ไม่ควรเกิน ๕ % ของความดันใช้งาน ถ้าความดันตกคร่อมมากกว่านี้จำเป็นจะต้อง เลือกขนาดของเครื่องอัดลมให้ใหญ่ขึ้นในขณะที่เครื่องจักรต้องการปริมาณลมที่เท่ากัน

๒.๒๒ ถังพักลมอัด

ในขณะที่อุปกรณ์นิวเมติกต่างๆ ทำงานพร้อมกันหลายตัวจะเกิดปัญหาขึ้น คือปริมาณลมที่เครื่องอัดลมผลิตได้นั้นไม่เพียงพอ และในขณะที่อุปกรณ์ไม่ได้ทำงาน ลมที่เครื่องอัดลมผลิตออกมาได้ก็ไม่มีที่เก็บ ดังนั้นถังพักลมจึงเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยจัดเก็บลมอัดที่เครื่องอัดลมผลิตออกมาได้ และจ่ายลมออกไปใช้งานด้วยความดันคงที่สม่ำเสมอ ซึ่งถังพักลมนั้นจะต้องมีความสัมพันธ์กับเครื่องผลิตลมอัด นอกจากนั้น ถังพักลมอัดยังสามารถระบายความร้อนให้กับลมอัดที่เกิดการอัดตัวให้มีอุณหภูมิต่ำลง ซึ่งจะทำให้ไอน้ำบางส่วนที่ปนมากับลมอัดกลั่นตัวเป็นหยดน้ำอยู่ภายในถังพักลมอัดนี้ และที่ถังพักลมอัดนี้จำเป็นจะต้องมี ลิ้นนิรภัยเพื่อระบายความดันที่สูงกว่ากำหนดออกสู่บรรยากาศ นอกจากนั้นจะต้องมีลิ้นระบายน้ำเพื่อระบายน้ำที่เกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำซึ่งปนกับลมอัดออกสู่บรรยากาศด้วย

ขนาดของถังพักลมอัดนี้จะขึ้นอยู่กับเครื่องผลิตลมอัดที่ใช้ทั้งหมดรวมทั้งปริมาณสำรองที่เผื่อไว้ใช้ในอนาคตของโรงงานอีกด้วย ลักษณะของถังพักลมโดยทั่วไปมีอยู่ ๒ แบบ คือแบบนอน และแบบตั้ง โดยทั่วไปถังพักลมแบบนอนจะใช้กับเครื่องอัดลมขนาดเล็ก ส่วนแบบตั้งจะใช้กับเครื่องอัดลมขนาดใหญ่ โดยตัวถังพักลมจะแยกอยู่ต่างหากจากเครื่องอัดลมและจะอยู่คนละห้อง ส่วนใหญ่จะใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ทั่วไป

๒.๒๓ ทฤษฎีโมเมนตัมของใบพัด (Momentum theory of propellers)

ใบพัดคือกลไกที่หมุนโดยใช้แรงบิดของเพลลาเพื่อทำให้เกิดแรงดันตามแกน การเปลี่ยนแรงบิดไปเป็นแรงดันตามแกนนั้นทำโดยใช้ใบพัดเปลี่ยนโมเมนตัมของไหลที่ใบพัดนั้นจมอยู่ เมื่อใบพัดซึ่งจมในของไหลมีการหมุน จะทำให้เกิดแรงกระทำต่อของไหลและผลักดันให้ของไหลวิ่งกลับหลังแรงปฏิกิริยาของแรงนี้จะทำให้เกิดแรงผลักใบพัดให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า

จากรูปที่ ๒.๖ แสดงชุดใบพัดที่กำลังเคลื่อนที่ของไหลขณะหยุดนิ่งไปทางซ้าย ด้วยความเร็ว V ซึ่งอาจเปรียบได้ว่าชุดใบพัดนี้หมุนนิ่งอยู่กับที่โดยมีกระแสของของไหลจากทางซ้ายไปขวาผ่านชุดใบพัดนี้ กระแสของของไหลจะไหลผ่านภาคตัด ๑ ด้วยความเร็ว V และจะเพิ่มความเร็วขึ้นเมื่อเข้าใกล้ใบพัดและไหลผ่านใบพัดไป สมมติให้ที่ภาคตัด ๒ อยู่หลังชุดใบพัดความเร็วของไหลเป็น V_j สำหรับการทำงานของชุดใบพัดในของไหลที่อยู่นิ่งนั้น ความดันระยะหนึ่ง หน้าและหลังของชุดใบพัด เช่นที่ภาคตัด ๑ และภาคตัด ๒ และความดันที่ขอบ slip stream boundary จะมีค่าเท่ากับความดันของของไหลที่อยู่นิ่ง จากรูป ๒.๖ (ข) จะเห็นว่าลักษณะของความดันจะลดลงจาก P_0 ก่อนเข้าสู่ใบพัด และจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านเข้าไปในใบพัดและจะลดลงไปเป็น P_0 อีกเมื่อเคลื่อนที่ผ่านพ้นออกมา สมมติให้ของไหลที่ผ่านใบพัดมีความเร็วเพิ่มขึ้น และไม่คำนึงถึงผลจากการหมุนของใบพัด เราสามารถคำนวณหาแรงผลักดันที่เกิดขึ้นบนใบพัดได้ดังนี้

$$T_p = (\pi D^2/4) (\Delta P) \quad \text{----- (4)}$$

จากรูป ๒.๖ ถ้าพิจารณาที่ภาคตัด ๑ ถึงภาคตัด ๒ จะเห็นได้ว่าแรงที่กระทำต่อของไหลนี้มีเพียงแรง T_p เท่านั้น เนื่องจากบริเวณที่นอกเหนือจากขอบเขต (boundary) นั้นความดันยังคงเท่ากันหมด

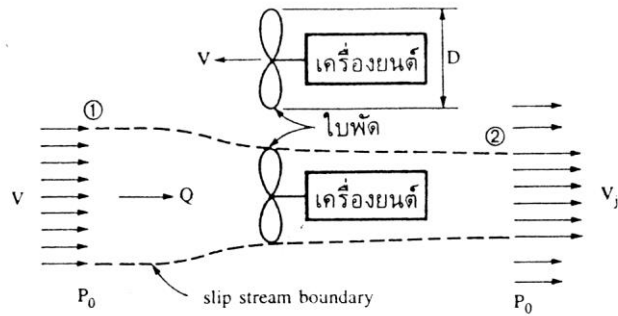
$$\text{ดังนั้น} \quad T_p = \rho \cdot Q (V_j - V) \quad \text{----- (5)}$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหลของของไหลผ่าน slip stream โดยการใช้สมการพลังงานระหว่างภาคตัด ๑ และภาคตัด ๒

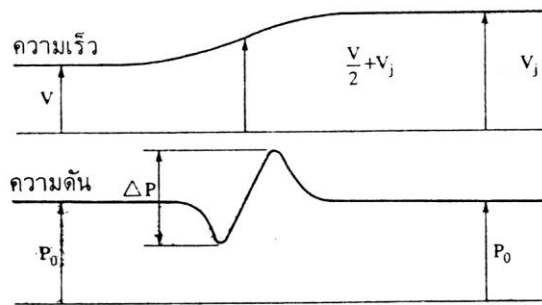
$$P_0 + \rho(V^2/2) + \Delta P = P_0 + \rho (V_j^2/2) \quad \text{----- (6)}$$

เมื่อ ΔP เป็นงานที่เกิดจากใบพัดกระทำต่อของไหลใน slip stream แก้ไขสมการที่ ๕ และ ๖ จะได้ดังนี้

$$Q = (\pi D^2/4) (V+V_j/2) \quad \text{----- (7)}$$



(ก)



(ข)

รูปที่ ๒.๖ แสดงชุดไพบัตในของไหล

จากสมการที่ ๗ แสดงว่าความเร็วของการไหลที่ผ่านไพบัตมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของความเร็วทางเข้า V และความเร็วทางออก V_j ซึ่งเป็นการค้นคว้าของวิลเลียมฟรอยด์ (William Froude) และเรียกทฤษฎีของฟรอยด์ (Froude's theorem) อันเป็นสมมติฐานที่สำคัญของการออกแบบไพบัต

ในกรณีที่เราให้ของไหลหยุดนิ่งและไพบัตเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V จะได้อัตราการทำงานของไพบัตเท่ากับ ผลคูณของแรงผลักดันของไพบัตคูณด้วยความเร็ว นั่นคือ

$$\text{กำลังงาน Output} = T_p \cdot V = \rho \cdot Q \cdot (V_j - V) V \quad \text{----- (8)}$$

นอกจากงานที่ทำได้แล้ว ยังมีงานบางส่วนสูญเสียไปในการเพิ่มพลังงานจลน์เพื่อให้ slip stream เคลื่อนที่คือ

$$\text{กำลังงานสูญเสีย} = [\rho \cdot Q \cdot (V_j - V)^2 / 2] \quad \text{----- (9)}$$

เนื่องจาก $(V_j - V)$ คือ ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างของไหลกับพื้นโลก ดังนั้นกำลังงานที่เครื่องยนต์ต้องขับไพบัตจะเท่ากับกำลังงานเอาต์พุต บวกด้วยกำลังงานสูญเสีย

$$\text{กำลังงาน Input} = [\rho \cdot Q \cdot (V_j - V) V + \rho \cdot Q \cdot (V_j - V)^2 / 2] \quad \text{----- (10)}$$

ประสิทธิภาพของการขับทางทฤษฎี η_{th} ซึ่งบางครั้งเรียกว่าประสิทธิภาพฟรอยด์ (Froude efficiency) เท่ากับอัตราส่วนของสมการที่ ๘ และ ๑๐

$$\begin{aligned}\eta_{th} &= \text{กำลังงานเอาต์พุต} / \text{กำลังงานอินพุต} \\ &= [\rho \cdot Q(V_j - V)V] / [\rho \cdot Q(V_j - V)^2/2] \\ \eta_{th} &= 2 / [1+(V_j/V)]\end{aligned}\quad \text{----- (11)}$$

อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพที่ได้ตามสมการนี้ไม่คิดแรงเสียดทานและผลของการที่ใบพัดต้องทำให้ของไหลเกิดการหมุนไว้ด้วย ดังนั้นจึงเรียกประสิทธิภาพที่ได้ว่าเป็นประสิทธิภาพที่ได้ว่าเป็นประสิทธิภาพทางทฤษฎี นอกจากนั้นขอให้สังเกตว่าประสิทธิภาพการขับ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนความเร็ว $(V_j - V)$ จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วน $(V_j - V)$ ลดลง และประสิทธิภาพจะมีค่ามากที่สุด ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์เมื่อ $(V_j - V)$ มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งในกรณีดังกล่าวเป็นไปได้ เนื่องจากใบพัดจะทำให้เกิดแรงผลักดันไม่ได้หากความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงในทางปฏิบัติ ใบพัดของอากาศอาจมีค่าประสิทธิภาพมากที่สุดประมาณ ๐.๘๕ ถึง ๐.๙๐ เท่าของค่าที่ได้สมการ ๑๑ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผลของการอัดตัวได้ของของไหลจะทำให้ประสิทธิภาพของใบพัดของอากาศยานลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความเร็วสูงกว่า ๖๔๐ กิโลเมตร/ชั่วโมง ประสิทธิภาพของใบพัดของเรือตามปกติจะมีค่าน้อย เนื่องมาจากข้อจำกัดเรื่องขนาดของใบพัด

๒.๒๔ ททราย (SAND)

ททรายเป็นวัสดุที่สำคัญชนิดหนึ่ง จะเรียกว่า เป็นหินเม็ดเล็กก็ได้ มันเกิดการแยกตัวขึ้นได้เองตามธรรมชาติ สำหรับประเทศไทย ททรายมีไม่เพียงพอสำหรับความต้องการใช้งาน ปัจจุบันมีเรือขุดหรือเรือดูดจากลำน้ำ นำทรายขึ้นมาได้รวดเร็ว และเป็นจำนวนมาก ยังมีเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บทรายใช้ระบบเกาอยู่บ้าง คือต้องลงไปได้น้ำตักใส่เรือ เลยเป็นอาชีพของคนไทยที่นิยมกันในหมู่ผู้ที่มีความอดทน ได้ทรายมาลำบากจึงมีความจำเป็นที่จะต้องตีราคาทรายสูงขึ้นเป็นค่าแรง ส่วนค่าทรายแท้ ๆ เป็นของแผ่นดิน

ทรายมีขนาดไม่โตกว่า ๑/๑๒” และไม่เล็กกว่า ๑/๑๔๐๐” สำหรับมาตรฐานทั่วไป ถ้าเล็กกว่านี้อีกทรายจะกลายเป็นฝุ่น เมื่อผสมกับน้ำจะคล้ายดินโคลนมากที่สุด

ตามเทศบัญญัติของกรุงเทพมหานคร ได้วางมาตรฐานไว้ เพื่อผลทางเปรียบเทียบในงานราชการหรือในการควบคุมของเทศบาล คือไม่โตกว่า ๓ มม. หรือมีขนาดตลอดรูตะแกรงร่อนหกเหลี่ยมขนาด ๑/๑๖” ทรายมีวัสดุบางอย่างผสมอยู่ส่วนมากประกอบด้วยหินแข็งจำพวกหนึ่งเรียกว่า Quartz หรือ Basalt ซึ่งแยกย่อยลงมาเป็นชิ้นเล็ก ๆ เรียกว่า “หินละเอียด” หรือมวลรวม

ละเอียด (Fine Aggregate) การที่จะปรากฏเป็นรูปร่างว่าทรายนี้ต้องอาศัยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น แคน ผน หิมะ หรือคลื่นในทะเลหรือในแม่น้ำลำคลองซัดให้เม็ดหินขัดสีกันเป็นก้อนก่อนข้างกลม ผิวมันมีสีต่างๆ ตามลักษณะของหินที่แตกออกมา

๒.๒๔.๑ ทรายธรรมชาติที่มีที่เกิอยู่ ๒ ลักษณะดังนี้

๑. ทรายบกหรือทรายบ่อ (Pit Sand or Bank sand) สภาพภูมิอากาศทำให้เกิดการ แยกแยกเสียหายชำรุดของหินทราย (Sand Stone) จะฝังอยู่ในพื้นดินเป็นแห่งๆ มักนิยมใช้เพราะทรายชนิดนี้แฉงเหลี่ยมมุมแข็งแรงดี เม็ดทรายไม่กลมมนเรียบร้อยนัก ทำให้เหมาะมาก แต่ทรายชนิดนี้มักจะมีดิน, พีช, ซากสัตว์ปนอยู่ด้วยเสมอ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการยอมให้ผสมกับทรายน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย ฉะนั้นเมื่อจะนำมาใช้ต้องนำทรายมาล้างหรือแยกให้สะอาด ด้วยวิธีใดๆ ก็ได้เสียก่อน ซึ่งเป็นการเปลืองค่าแรงงาน ค่าขนส่งและเวลามาก ทรายที่เกิดตามทะเลทรายก็นับว่าเป็นทรายบก สาเหตุอันเกิดของทะเลทรายอันเต็มไปด้วยทราย ซึ่งไปเห็นแล้วคิดว่าเป็นโชคดีมหาศาลเลยทีเดียวสำหรับการผันแปรทางภูมิศาสตร์ ทำให้ทรายคงรูปร่างอย่างเหมาะสมสำหรับงานมากที่สุด

๒. ทรายแม่น้ำ (River sand) ทรายชนิดนี้มีอยู่ทั่วไปในแถบที่ราบลุ่มตามท้องน้ำ ลำคลองเก่า ทะเล สันดอน ทรายชนิดนี้ถูกภัยจากปรากฏการณ์ของธรรมชาติพัดนำมาจากที่อื่นรวมกันอยู่เป็นทรายที่สะอาด ด้วยเหตุที่น้ำได้พัดทรายมาจากที่หนึ่งระหว่างที่พามา นั้น ก็ทำความสะอาด ผงโคลน เศษวัตถุอื่นก็ตกลงตามทาง พบว่าทรายที่ได้จากแม่น้ำ สะอาดพอที่จะนำมาใช้กับงานก่อสร้างได้ ส่วนข้อเสียที่เกิดจากการพามากับน้ำนี้ก็คือ อาจทำให้ทรายกระทบกันทำให้เม็ดแตกแยก ถูกรัดกัด กิ่ง เสียขดสีกัน จนกระทั่งเป็นทรายที่มีลักษณะกลมเกลี้ยงส่วนมากปราศจากเหลี่ยมคม ฉะนั้นการนำมาใช้กับงานต้องคำนึงถึงผลอันบังเกิดแก่งานในด้านต่าง ๆ ด้วย

๒.๒๔.๒ ประโยชน์

ทรายมีประโยชน์สำหรับมนุษย์มาก ทรายชนิดที่ประกอบด้วยหินมักมีสีขาวเช่น ทรายเกาะเสม็ด ในการทำแก้ว ทำแบบหล่อโลหะ ใช้ขัดผิวหน้าโลหะ กระฉก ที่สำคัญคือ ใช้ประกอบในการก่อสร้าง เช่น เป็นส่วนผสมของคอนกรีต และปูนก่อ

๒.๒๔.๓ วิธีตรวจสอบความแข็งแรง ความคมและความสะอาดของทราย

๑. ทดลองความแข็งอย่างง่าย ๆ โดยนำทรายมาใส่ในฝ่ามือ และขยี้แรงๆ ดู ถ้าทรายนั่นไม่แตกอีกต่อไป ก็แสดงว่ามีความแข็งแรงพอใช้การได้

๒. เอาทรายกำไว้ในมือ ถ้าปรากฏว่าทรายมีความคมมากจะรู้สึกทันทีว่าเม็ดทรายที่มแทงมือผิดปกติ หรือถ้านำมากำไว้ข้างหู แล้วขยับมือที่กำทรายนั้นไปมา ถ้ามีเสียงสีกันมากกว่าธรรมดา ก็แสดงว่ามีทรายมีความคม

๓. วิธีที่จะดูความสะอาดอย่างง่าย ๆ โดยใช้มือกำทรายแล้วแบดูที่ฝ่ามือพบว่าเปื้อนสีของทรายมากน้อยเพียงใด เช่น ผงดินติดมือก็แสดงว่าทรายนั้นใช้ไม่ได้

๔. เมื่อได้กระทำทั้ง ๓ วิธีแรกแล้ว หากยังสงสัยอยู่ก็อาจทดลองด้วยวิธีนี้ คือ มีวิธีตรวจโดยใช้น้ำยาเคมีผสมลงไป เช่น ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) ชนิดเข้มข้น ๓ % หรือโซดาไฟ (Caustic Soda) หนัก ๑ ออนซ์ ผสมเข้ากับน้ำ ๓๒ ออนซ์ แล้วเอาขวดขนาด ๑๒ ออนซ์ ใบนึ่งใส่ทรายลงไป ๔ ๑/๒ ออนซ์ แล้วเติมน้ำที่ผสมลงไปจนถึงขีด ๑ ออนซ์ แล้วเขย่าขวดให้เข้ากันดี ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย ๒๔ ชั่วโมง หลังจากนั้นทรายจะนอนกัน จะเห็นว่าน้ำที่ผสมกันนั้น ถ้าไม่มีสีหรือสีเหลืองอ่อนนับว่าทรายนั้นสะอาด ใช้งานได้ แต่ถ้าปรากฏว่าสีชาหรือแก่เป็นสีแดงเข้ม หรือสีน้ำตาลเข้มก็จะต้องทำการล้างทรายเสียก่อน จึงจะนำไปใช้งานได้ แสดงว่าทรายนั้นสกปรกมากไม่ควรนำมาใช้

๕. ผงที่มีปนอยู่ในทรายนั้นจะต้องมีปนอยู่บ้างแน่นอน แต่สำหรับในงานทั่วไปยอมให้ปนอยู่ไม่มากกว่า ๖ - ๗ % ทั้งนี้หมายถึงการเปรียบเทียบโดยประมาณหรือลองร่อนดูหรืออาจจะใช้โดยวิธีที่แน่นอนโดยทดลองใช้ขวดขนาด ๒๐๐ ลบ.ซม. ใส่ทรายครึ่งขวด และเติมน้ำอีก ๑/๔ ของขวด เขย่าแรงๆ ประมาณ ๕ นาทีแล้วปล่อยให้ทรายนั้นนอนกัน จี๊ฟหรือตะกอนที่เบาที่จะลอยขึ้นเหนือทราย เมื่อได้เช่นนี้เราทำการวัดระยะเปรียบเทียบ ส่วนของทรายกับตะกอนที่เกิดขึ้นได้ ถ้าปรากฏว่าตะกอนเกินกว่าร้อยละ ๖ - ๗ ของทรายดังกล่าวก็แสดงว่าทรายนั้นสกปรกต้องนำไปล้างเสียก่อน

ตารางที่ ๒.๔ การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของทราย

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	สูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้
ทรายธรรมชาติ	A	75.4	14.88	1.94	0.32	0.36	4.32
	B	79.5	8.00	5.4	0.41	0.2	3.3
ทรายแม่น้ำ	A	76.50	13.50	2.19	2.20	0.78	4.30
ทรายซิลิกาที่ถูกลบ	A	98.25	0.9	0.17	0.15	0.09	0.03
	B	95.65	4.4	0.14	0.25	0.09	0.15
ทรายชายหาด	A	95.48	2.29	0.44	0.03	0.2	-

ทรายซิลิกา มักใช้สำหรับทรายสังเคราะห์ เซลล์โพลี ซิเมนต์โพลี ทรายซีโอทู และแบบหล่อทรายที่ไม่ต้องมีการอบ

ตารางที่ ๒.๕ ตัวเลขแสดงขนาดของเม็ดทรายซิลิกา (%)

หมายเลข ขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลางของตะแกรง (ไมครอน)	ค่าที่มากที่สุด	% น้ำหนักบน ตะแกรงที่มีเม็ด ทรายอยู่มากที่สุด	% น้ำหนักรวม 3 ตะแกรง
10 Mesh	2380(8) 1680(10) 1190(14)	1680 (10)	>40	>70
14 Mesh	1680 (10) 1190 (14) 840 (20)	1190 (14)		
20 Mesh	1190 (14 0 840 (20) 590 (28)	840 (20)		
28 Mesh	840 (20) 590 (28) 420 (35)	590 (28)		
35 Mesh	590 (28) 420 (35 0 297 (48)	420 (35)		
48 Mesh	420 (35) 297 (48) 210 (65)	297 (48)	>30	
65 Mesh	297 (480 210 (65) 149 (100)	210 (65)		
100 Mesh	210 (65) 149 (100) 105 9 150)	149 (100)		
150 Mesh	149 (100) 105 (150) 74 (200)	105 (150)		
200 Mesh	105 (150) 74 (200) 53 (270)	74 (200)		

หมายเหตุ () คือ เมช % น้ำหนักรวม ๓ หมายถึง น้ำหนักบนตะแกรงที่มากที่สุดรวมกับน้ำหนักที่เหนือขึ้นไป ๑ ตะแกรง และน้ำหนักได้ลงไป ๑ ตะแกรง

ตารางที่ ๒.๖ ขอบเขตจำกัดของวัตถุละเอียดในทรายซิลิกา

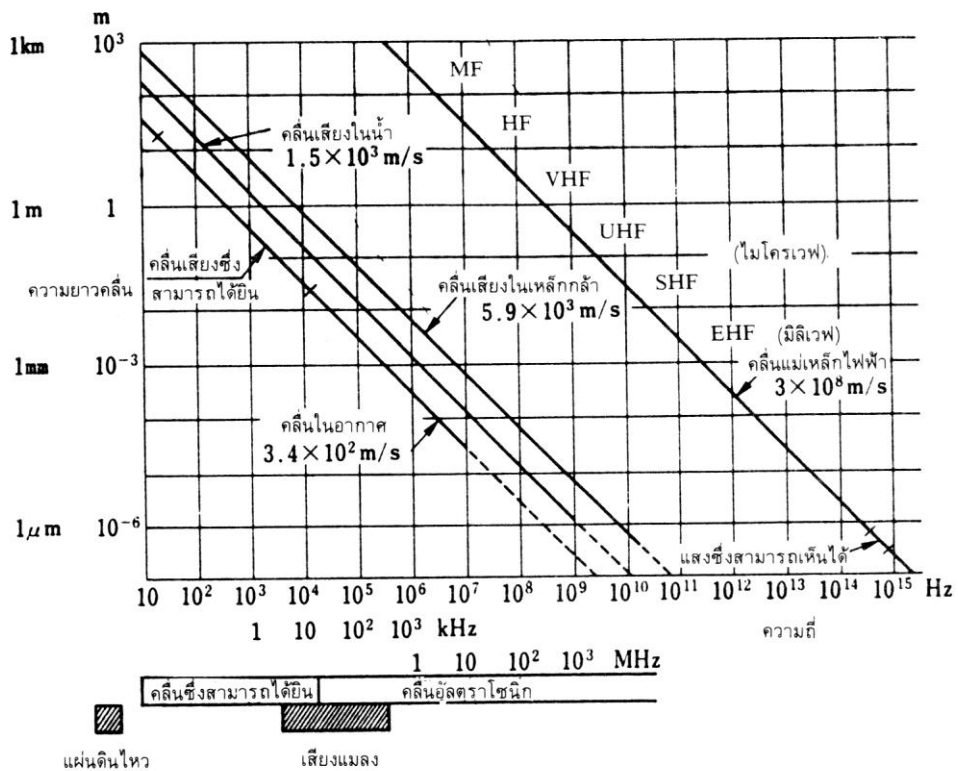
ขนาดเม็ดทราย	ขนาดของวัตถุเล็กละเอียด 1/1000 มม.	ปริมาณของวัตถุเล็ก ละเอียด
หมายเลข 10 - 35	25 - 105	2 % สูงสุด
หมายเลข 45 - 100	20 - 53	1 % สูงสุด
หมายเลข 150	20 - 53	2 % สูงสุด
หมายเลข 200	-	ไม่มีจำกัด

โดยเฉพาะทรายขนาดหมายเลข ๑๐ ถึง ๖๕ มีความบริสุทธิ์ที่ชั้น ๑ และ ชั้น ๒ จะต้องมีปริมาณดินและวัตถุเล็กละเอียด (Fine particle) รวมกันแล้วต่ำกว่า ๑.๕ % ความชื้นที่มีอยู่ในทราย ซิลิกาที่ขายกันอยู่ในท้องตลาดต้องต่ำกว่า ๐.๕ %

๒.๒๕ การทดสอบวัดความหนาของโลหะด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
(Ultrasonic Thickness Measurement)

๒.๒๕.๑ รายละเอียดทั่วไป

คลื่นเสียงอุลตราโซนิกโดยทั่วไป หมายถึง คลื่นเสียงความถี่สูงซึ่งมนุษย์ไม่สามารถได้ยินได้ สำหรับคลื่นเสียงซึ่งมนุษย์สามารถจะได้ยินหรือรับรู้ได้นั้นจะมีความถี่อยู่ระหว่าง ๒๐ – ๒๐,๐๐๐ รอบต่อวินาที รูปที่ ๒.๗ แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของคลื่นเสียงในตัวกลางที่เป็นตัวแทนของก๊าซ ของเหลว และของแข็งซึ่งได้แก่ อากาศ (ความเร็วคลื่นเสียง 340 m/s) น้ำ (1,500 m/s) และเหล็กกล้า (5,900 m/s)ตามลำดับนอกจากนั้นยังแสดงความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศเพื่อเป็นการเปรียบเทียบกับจากรูปที่ ๒.๗ จะเห็นได้ว่า

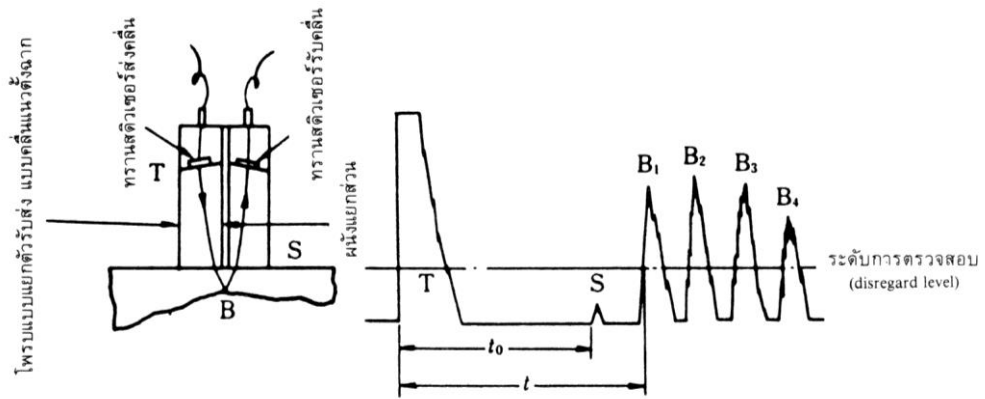


รูปที่ ๒.๗ กราฟเปรียบเทียบความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นเสียงกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

๑. เมื่อเทียบกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วคลื่นเสียงมีความเร็วช้ากว่ามากในอัตราส่วน $(0.5 - 10) \times 10^5$ เท่า
๒. ดังนั้นคลื่นเสียงจะมีความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาก
๓. การที่คลื่นเสียงจะส่งผ่านจากจุดหนึ่งไปจุดหนึ่งได้นั้นต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่าน แต่สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน สุญญากาศก็สามารถส่งผ่านไปได้
๔. ทั้งคลื่นเสียงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถส่งผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศได้ ยกเว้นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 10^3 kHz ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นอัลตราโซนิคจะไม่สามารถส่งผ่านตัวกลางอากาศได้
๕. สำหรับในน้ำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่ต่ำมากๆ จึงจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่สำหรับคลื่นเสียงแล้วสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้โดยง่าย
๖. สำหรับโลหะ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมากๆ หรือกัมมันตภาพรังสีเท่านั้นจึงจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่สำหรับคลื่นเสียงแล้วสามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางโลหะไปได้ดีกว่าและไกลกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย
๗. ในกรณีของคลื่นเสียงจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายเหมือนอย่างเช่นคลื่นกัมมันตภาพรังสี พวกรังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมมา
๘. พลังงานอันเกิดจากคลื่นเสียงอัลตราโซนิคที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้นั้นจะต้องมีค่าเกินกว่า 0.1 W/cm^2 แต่พลังงานของคลื่นเสียงอัลตราโซนิคที่ใช้กับการทดสอบในครั้งนี้มีค่าน้อยกว่า 0.1 W/cm^2 ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้

๒.๒๕.๒ การนำไปใช้งาน

เครื่องวัดความหนาของวัตถุด้วยคลื่นอัลตราโซนิคนี้ เป็นเครื่องวัดแบบมือถือสามารถวัดความหนาของวัตถุได้หลายชนิด เช่น โลหะ พลาสติก กระฉก และวัตถุอื่นๆ ที่สามารถนำพาคลื่นอัลตราโซนิคได้ดี เหมาะสำหรับวัดความหนาของวัตถุที่ต้องการความละเอียดสูง เครื่องวัดความหนานี้สามารถนำไปใช้ได้กับชิ้นงานที่เป็นแผ่นและเป็นชิ้นส่วน เพื่อใช้ในการตรวจวัดและควบคุมคุณภาพของวัสดุ เช่น ในงานทางด้านปิโตรเลียม วิศวกรรมเคมี งานโลหะ การต่อเรือ การบิน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปตรวจวัดความหนาของท่อและถึงความดันชนิดต่างๆ เพื่อจะได้ทราบความหนาที่ลดลงไประหว่างการใช้งานซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการสึกหรอและกัดกร่อน



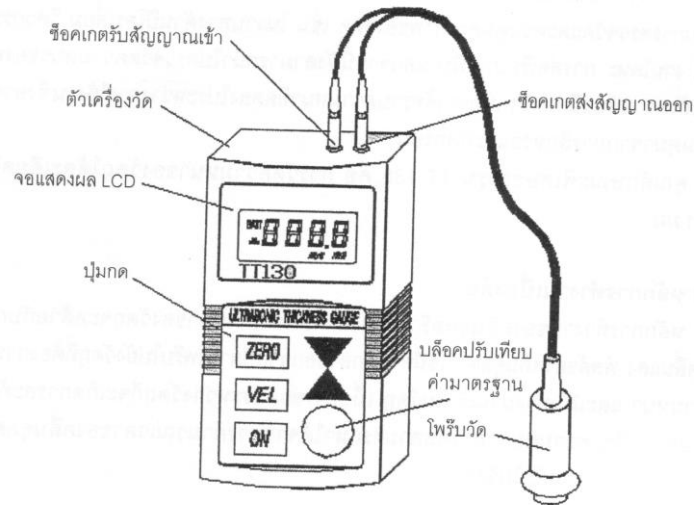
รูปที่ ๒.๘ หลักการทำงานของเครื่องทดสอบวัดความหนาแบบคลื่นอุลตราโซนิก

๒.๒๕.๓ หลักการทำงานเบื้องต้น

หลักการทำงานของคลื่นอุลตราโซนิกในการวัดความหนาของวัตถุจะคล้ายกับการใช้คลื่นแสง พัลส์ของคลื่นอุลตราโซนิกจะถูกส่งออกจากปลายโพรบไปยังวัตถุที่ต้องการวัดความหนา และเดินทางผ่านเข้าไปในวัตถุ เมื่อถึงรอยต่อระหว่างวัตถุก็จะเกิดการสะท้อนกลับของคลื่นความหนาของวัตถุสามารถหาได้จากการคำนวณเวลาของคลื่นอุลตราโซนิกที่เดินทางไป - กลับในวัตถุ จากรูปที่ ๒.๘ พัลส์ของคลื่น T จะถูกส่งออกไปยังวัสดุที่จะหาความหนาและจากเวลาของสัญญาณสะท้อนอันแรก (B₁) ที่มีความสูงเกินกว่าระดับการตรวจสอบให้เป็นเวลา t ส่วนเวลาของสัญญาณสะท้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนที่ผิวหน้าของวัสดุ S ให้เป็นเวลา t₀ ผลต่างของ t และ t₀ เมื่อหารด้วยความเร็วของเสียงในเนื้อวัสดุก็จะได้ความหนาของวัสดุตามต้องการ และสามารถแสดงผลเป็นตัวเลขได้

๒.๒๕.๔ อุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องวัด

- อุปกรณ์มาตรฐาน : ตัวเครื่อง ๑ เครื่อง
- โพรบ 5P Ø 10 ๑ อัน
- เจลนำคลื่น ๑ ขวด



รูปที่ ๒.๕ อุปกรณ์เครื่องทดสอบวัดความหนาของโลหะด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
(Ultrasonic Thickness Measurement)

๒.๒๕.๕ ขั้นตอนการทดสอบ

๑. เตรียมอุปกรณ์ก่อนทำการวัด ใส่โพรวัดในโพรวัดขี้อัดบนตัวเครื่องวัด (ปลั๊กด้านส่งสัญญาณออกจะอยู่ด้านขวาและปลั๊กด้านรับสัญญาณจะอยู่ด้านซ้าย) กดปุ่ม ON เพื่อเปิดไฟเครื่องวัด โดยจะมีสัญลักษณ์ปรากฏขึ้นตามภาพด้านล่าง หลังจากที่มีการแสดงสัญลักษณ์ทั้งหมดบนหน้าจอเป็นเวลา ๒ - ๓ วินาทีแล้ว ก็สามารถเริ่มต้นใช้งานได้

๒. การปรับค่าความเร็วเสียง ถ้าในขณะนั้น จอแสดงค่าความหนาของวัตถุอยู่ ให้กดปุ่ม VEL เพื่อเข้าสู่ระบบการปรับค่าความเร็วคลื่นเสียงสำหรับวัสดุตั้งตารางที่ ๒.๗ จากนั้นบนจอแสดงผลก็จะแสดงค่าความเร็วเสียงที่เก็บบันทึกไว้ในหน่วยความจำทั้งหมดในแต่ละครั้งที่กดปุ่มจะเป็นการเปลี่ยนค่าความเร็วเสียงในหน่วยความจำ ซึ่งจะเป็นการวนรอบแสดงค่าความเร็วเสียง ซึ่งมีอยู่ ๕ ค่าความเร็วที่แตกต่างกันออกไป

หากต้องการเปลี่ยนค่าความเร็วเสียงที่ปรากฏบนจอแสดงผลขณะนั้น ก็สามารถทำได้โดยกดที่ปุ่ม ∇ - Δ เพื่อปรับเปลี่ยนเป็นค่าที่ต้องการ ค่านี้จะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำโดยอัตโนมัติ

๓. การปรับเทียบค่า ในแต่ละครั้งที่เปลี่ยนโพรวัดหรือแบตเตอรี่ ควรที่จะทำการปรับเทียบค่า ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีผลกระทบต่อความเที่ยงตรงในการตรวจวัดมาก ดังนั้นในบางครั้งต้องทำการปรับเทียบค่าซ้ำกันหลายๆครั้งตั้งค่าความเร็วเสียงเป็น ๕,๕๐๐ เมตรต่อวินาที แล้วกดปุ่ม ZERO เพื่อเป็นการปรับเข้าสู่ระบบการปรับเทียบค่า และที่บนจอจะแสดงเส้นประ

ทาสารนำคลื่นบนบล็อกทดสอบ (Testing Block) ที่ติดอยู่บนตัวเครื่อง และวางโพรับให้แนบติดกับบล็อกทดสอบ และเมื่อถึงขั้นตอนนี้ เส้นประที่ปรากฏบนจอแสดงผลก็หายไป ให้รอจนกระทั่งบนจอแสดงผลแสดงค่า ๔.๐๐ มิลลิเมตร ซึ่งเป็นสัญลักษณ์บ่งบอกถึงเสร็จสิ้นการปรับเทียบค่า หลังจากนั้นเครื่องวัดจะเข้าสู่สถานการณ์วัดและทำการวัดความหนาวัตถุทดสอบแบบสุ่ม ถ้าค่าความผิดพลาดของการวัดอยู่นอกเหนือย่านความผิดพลาดของการวัด ควรจะทำการปรับเทียบอีกครั้ง จนกระทั่งค่าการวัดอยู่ในย่านความผิดพลาดที่รับได้

๔. การวัดความหนาของวัตถุ

ทาสารนำคลื่นบนพื้นผิววัตถุที่ต้องการวัดความหนา และวางโพรับแนบติดกับพื้นผิวนั้น จากนั้นก็จะเริ่มทำการตรวจวัด โดยบนจอแสดงผลจะแสดงค่าความหนาของวัตถุที่ตรวจวัด

เมื่อนำโพรับออกจากพื้นผิววัตถุที่วัด ค่าความหนาจะยังคงแสดงบนจอแสดงผล แต่สัญลักษณ์แสดงการส่งผ่านคลื่นเสียงจะหายไป จากนั้นบันทึกค่าที่ได้และนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ ๒.๗ แสดงค่าความเร็วของคลื่นเสียงสำหรับวัสดุต่างๆ

วัสดุ	ความเร็วของคลื่นเสียง (m/s)
อะลูมิเนียม	6320
สังกะสี	4170
เงิน	3600
ทอง	3240
ดีบุก	3320
เหล็กกล้า	5900
ทองเหลือง	4430
ทองแดง	4700
สแตนเลส	5970
Acrylic resin	2730
Water (20°C)	1480
Glycerine	1920
Sodium silicate	2350