เทคโนโลยีการตรวจวัด
การรั่วของอุปกรณ์แต่งแร่

ในกระบวนการแต่งแร่ในประเทศนั้น ส่วนใหญ่จะใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับของแข็ง เช่น บดและคัดขนาดแร่ให้ได้ขนาดตามต้องการ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนอุปกรณ์เหล่านี้ย่อมเกิดความเสียหายหรือชำรุดเกิดขึ้น ทำให้สูญเสียวัตถุดิบขึ้นหรือเกิดฝุ่นฟุ้งกระจายออกมา เกิดการสูญเสียจากการผลิต (Downtime) ผลมาจากรางเทตันเพราะสิ่งกีดขวาง (Blockage or Plugged Chutes) ทำให้การไหลของวัตถุดิบไม่สะดวก และต้องบำรุงรักษาโดยที่ไม่จำเป็น โดยการใช้อุปกรณ์โดยติดตามการไหลของของแข็งในกระบวนการ เทคโนโลยีนี้สามารถนำมาใช้ในการวัดการรั่วของอุปกรณ์แต่งแร่โดยวัดเสียงที่เกิดขึ้นจากความผิดปกติของการไหลของวัฏดิบแร่หรืออุปกรณ์ที่เกิดความเสียหาย ซึ่งใช้เซ็นเซอร์ติดตามคลื่นเสียงย่านความถี่สูงหรือเสียงทำให้เกิดโครงสร้าง (Structure-Born Acoustics) ขึ้นจากแรงเสียดสีและการกระทบกันของผงฝุ่น เม็ดฝุ่นขนาดเล็ก และก้อนของแข็งในระหว่างการเคลื่อนที่

รูปที่ 1 แสดงการติดตั้งทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจวัด

การติดตั้งหรือบำรุงรักษาเทคโนโลยีดังกล่าวเซ็นเซอร์ไม่จำเป็นต้องหยุดกระบวนการผลิตหรือขัดจังหวะการไหลของวัตถุดิบ เพราะเป็นเทคโนโลยีแบบไม่มีการรบกวน (Non-intrusive) นอกจากนี้ การสึกหรอและการฉีกขาดของวัสดุน้อยมาก เพราะเซ็นเซอร์

ไม่ได้สัมผัสกับเนื้อของวัสดุโดยตรง คลื่นเสียงความถี่ต่ำที่เกิดจากการสั่นหรือจากเครื่องจักรจึงไม่มีผลรบกวน เพราะผลึกแบบเปียโซ (Unique Piezo-crystal) ในเซ็นเซอร์ตอบสนองต่อสัญญาณในช่วงความถี่ 75 – 175 kHz เท่านั้น

เซ็นเซอร์สามารถดำเนินการในระบบด้วยตัวเอง (Stand-alone) หรือดำเนินการร่วมกับระบบควบคุมกระบวนการของโรงงาน ซึ่งการประยุกต์ใช้ทั่ว ๆไปจะรวมถึงการอุดตันของรางเท (Plugged Chute Detection) การติดตามการไหล (Monitoring) แบบ flow/no-flow หรือ high-low/low-flow และสัญญาณเตือนเมื่อถุงกรองแตกในระบบกำจัดฝุ่น มีกรณีศึกษาหลายกรณีที่เทคโนโลยีนี้สามารถใช้ติดตามเทคโนโยลีดังกล่าวตรวจวัดในบริเวณวิกฤตในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มก้อนของแข็ง

บทนำ (Introduction)

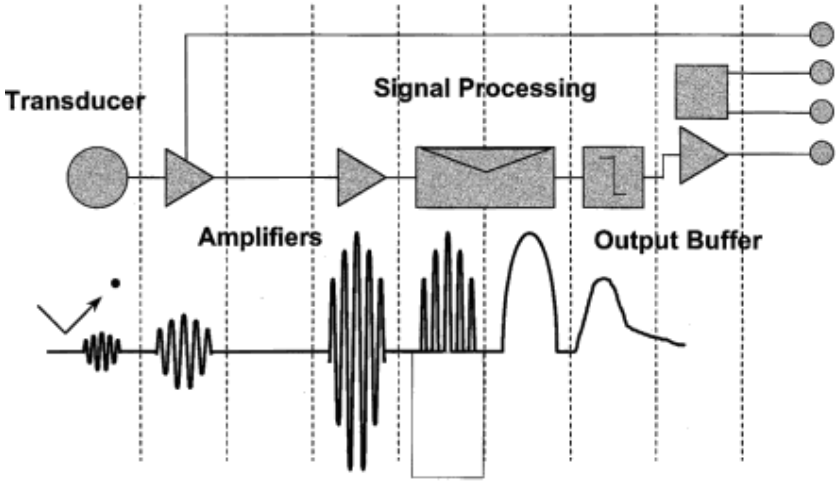
การตรวจวัดการไหลของแข็งแบบ Non-invasive ที่เชื่อถือได้มีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการจับวัสดุ (The material handling Industry) การสูญเสียจากการผลิต (Downtime) ผลมาจากรางเทตันเพราะสิ่งกีดขวาง (Blockage or Plugged Chutes) ทำให้การไหลของวัตถุดิบไม่สะดวก ทำให้มีการสูญเสียจากการผลิต และต้องบำรุงรักษาโดยที่ไม่จำเป็น ในบริเวณระบบกรองฝุ่นนั้นการปล่อยอนุภาคฝุ่นไปยังสิ่งแวดล้อมจากระบบรวบรวมฝุ่นที่บกพร่อง ซึ่งจะต้องจ่ายมีค่าซ่อมแซมอุปกรณ์ที่เสียหายและชุมชนท้องถิ่นใกล้เคียงด้วย

จากอดีตที่ผ่านมา โรงงานส่วนใหญ่พยายามแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการใช้เทคโนโลยีแบบ Invasive ที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดวัตถุดิบที่มีอยู่และวัตถุดิบที่หายไป มีตั้งแต่ใบพัดแบบครีบปลา (Mechanical paddlewheel) และสวิทช์แบบเอียง (Tilt switches) ไปจนถึง ออปโตอิเลกตริก (Opto-electric) สิ่งใกล้เคียง (Proximity) การสั่น (Vibrating) ความจุ (Capacitive) และอุปกรณ์สื่อนำทางไฟฟ้า (Inductive Electronic Devices) เป็นต้น ดังนั้น ในการใช้งานของเซ็นเซอร์เพื่อการตรวจวัดงานลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น การอุดตัน วัสดุใด ๆที่จะถูกตรวจวัดนั้นต้องแสดงคุณสมบัติยึดติด (Adhesive) เพียงพอที่จะสามารถทำการตรวจวัดได้ แนวคิดของการตรวจวัดการไหลในโรงงานนั้น วัสดุที่ถูกตรวจจะไม่ได้สัมผัสกับอุปกรณ์ตรวจวัดโดยตรง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องรวมค่าบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการสึกหรอบนเซ็นเซอร์ด้วย

หลักการทำงาน (Principle of Operation)

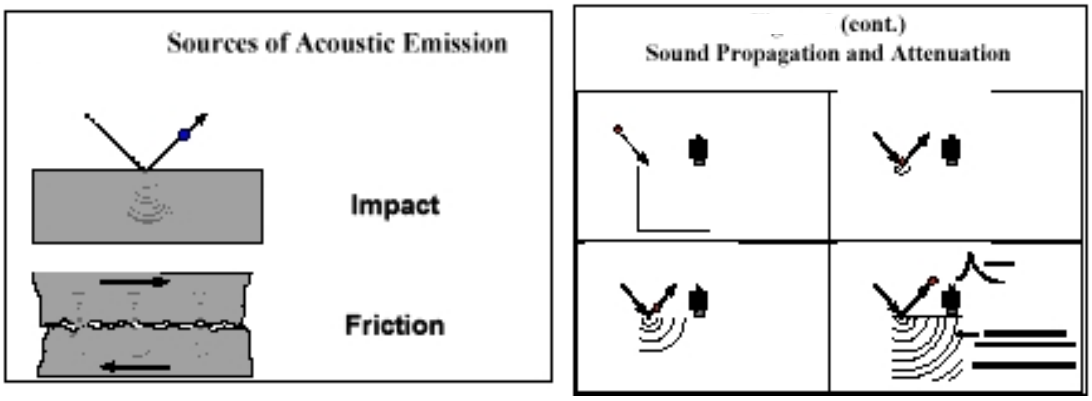
พลังงานคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เมื่อสสารสั่นในช่วงความถี่ระหว่าง 0 Hz และ 600 kHz เสียงเป็นพลังงานอยู่ในช่วงความถี่ 20 – 20 kHz และหูของมนุษย์สามารถได้ยินได้ พลังงานคลื่นเสียงความถี่ต่ำมีความยาวคลื่นยาวและใช้เวลานานในการเดินทางจากแหล่งกำเนิด ตัวอย่างเช่น Foghorn มีเสียงที่มีความถี่ต่ำ สามารถเดินทางไปได้หลายไมล์ผ่าน Densely Attenuating Fog เป็นต้น พลังงานคลื่นเสียงความถี่สูงกว่านั้นมีความยาวคลื่นสั้นและกระจายไปอย่างรวดเร็ว เช่น พิจารณาตัวโน้ตเสียงต่ำบนเปียโนถูกเคาะ เสียงที่ออกมาจะใช้เวลายาวนานกว่าโน้ตเสียงสูง ซึ่งจะคงอยู่เพียงชั่วขณะ

เทคโนโลยีการตรวจวัดใช้ผลึกเปียโซ (Piezo-crytal) ซึ่งเป็นผลึกชนิดหนึ่งก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งแต่เดิมประยุกต์ใช้จากอุปกรณ์ใช้ติดตามการสึกหรอบนใบพัดขนาดใหญ่ เมื่ออยู่ภายใต้ความเค้นทางกล การติดตามแบบ Bulk Solids Acoustic Monitoring ใช้ผลึกเปียโซชนิดพิเศษ ซึ่งตอบสนองต่อช่วงความถี่สูงที่ต้องการตรวจวัดเท่านั้น พลังงานคลื่นเสียงที่ได้รับโดยเซ็นเซอร์ภายในช่วงความถี่เฉพาะจะกระตุ้นโมเลกุลในผลึกเปียโซ และผลิตสัญญาณไฟฟ้าขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถวัดและแปลความหมายออกมาได้ ผลลัพธ์ทางไฟฟ้าจากผลึกเปียโซเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อระดับพลังงานคลื่นเสียงที่ออกมาที่ได้รับโดยอุปกรณ์Additional Amplification and Processing โดยเซ็นเซอร์และตัวแปลงสัญญาณออกทางอิเล็กทรอนิกส์ (Associated Electronics Convert Output) ไปยังสัญญาณไฟฟ้าซึ่งสามารถใช้สำหรับชี้วัดการไหลช่วง 0-10 VDC หรือ 4-20 mA. อุปกรณ์นี้ใช้พลังงานไฟฟ้า 24 VDC รูปที่ 2 แสดงสัญญาณจากผลึกถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณออกของเซ็นเซอร์



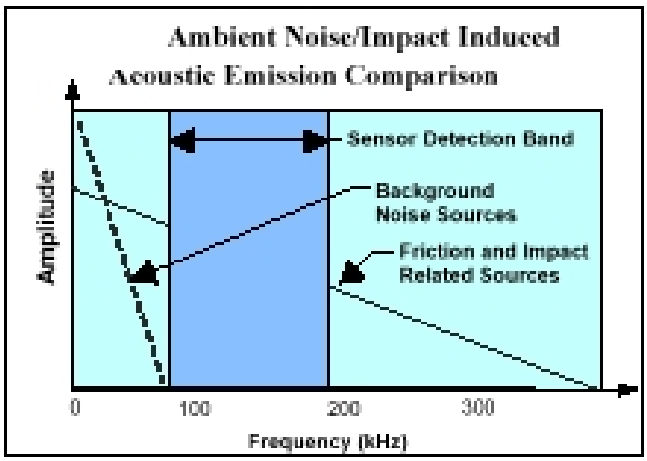
รูปที่ 2 แสดงสัญญาณจากผลึก Piezoelectric ในกระบวนการและขยายผลของข้อมูลเพื่อควบคุมกระบวนการ

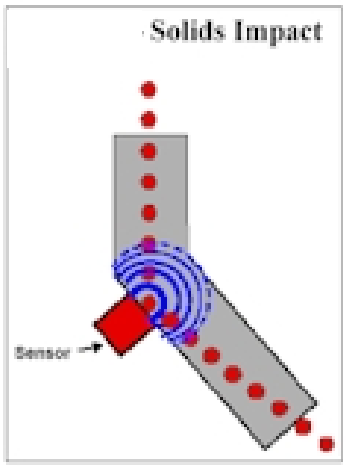
เสียงรบกวนที่เกิดขึ้นในโรงงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปจะต่ำกว่า 100 Hz อุปกรณ์เซ็นเซอร์ติดตามตรวจวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่แคบ จะตรวจวัดพลังงานคลื่นเสียงสะท้อนระหว่าง 75 – 175 kHz ประมาณ 1 พันเท่าของความถี่ของเสียงรบกวนในโรงงานตามปกติ แหล่งกำเนิดเสียงที่ปล่อยความถี่สูงโดยทั่ว ๆไปในสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมเกิดจากการเสียดสีหรือการกระแทกของอนุภาคบนเนื้อโลหะ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงแหล่งกำเนิดการปล่อยเสียงออกมา

คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การถ่ายโอนพลังงานเสียงระดับโมเลกุล พลังงานเสียงจะสามารถถ่ายโอนผ่านวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงได้ดี เช่น โลหะ แต่ถ่ายโอนพลังงานเสียงได้ไม่ดีในวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ เช่น อากาศ เสียงรบกวนความถี่สูงจากบริเวณอื่นจะไม่ส่งผลกระทบต่อการตรวจวัดด้วยเทคโนโลยีนี้ รูปที่ 4 แสดงช่วงของการตรวจวัดเสียงของเซ็นเซอร์ และรูปที่ 5 แสดงเซ็นเซอร์ตรวจจับคลื่นพลังงานความถี่สูงที่เกิดขึ้นจากการกระแทกของของแข็งบนพื้นผิวโลหะ เช่น รางเท ท่อ หรือเส้นทางของระบบนิวเมติก





รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบการปล่อยเสียงออกมาของ Noise/Impact ล้อมรอบ
และรูปที่ 5 แสดงเซ็นเซอร์ตรวจวัดการกระแทกของของแข็ง

การใช้งาน (Application)

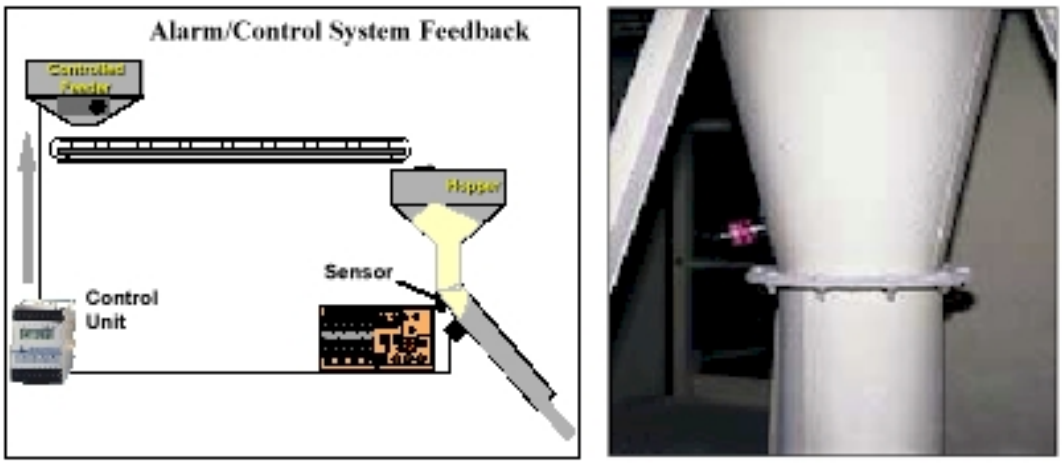
การนำเซ็นเซอร์ไปใช้งานนั้นควรติดตั้งบริเวณที่สามารถรับพลังงานเสียงสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการกระแทกหรือเสียดสีของวัสดุได้ เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีนี้ เซ็นเซอร์ตรวจวัดเสียงเป็นการตรวจวัดเสียงที่เกิดจากการเสียดสีกันของวัสดุที่ที่กำลังตรวจติดตามกับพื้นผิวโลหะ ถ้าผิวโลหะมีสีหรือวัสดุเคลือบอยู่จะทำให้เซ็นเซอร์ตรวจจับสัญญาณเสียงได้ไม่ชัดเจน ดังนั้น ควรกำจัดสีหรือวัสดุเคลือบผิวโลหะออกก่อน เพื่อให้โลหะสัมผัสกับวัสดุที่กำลังตรวจติดตามโดยตรง กรณีตัวอย่างที่ทำให้เซ็นเซอร์อาจจะทำงานไม่เหมาะสม เช่น

- บริเวณที่วัสดุบุรองรางเทเป็นพลาสติกหรือยาง เพื่อป้องกันการสึกหรอหรือช่วยในการขนถ่าย
- อนุภาคซึ่งขนถ่ายทางระบบนิวเมติกมีขนาดเล็กมากยังคงลอยอยู่ในกระแสการไหลและไม่ได้สัมผัสกับด้านข้างของท่อ
- ขนาดอนุภาคมากกว่า 600 – 800 เมซ อาจจะไม่ทำให้เกิดการเสียดสีเพียงพอในสภาวะการไหลตามแรงโน้มถ่วง

มีข้อควรคำนึงที่สำคัญในการติดตั้ง คือ ไม่ควรติดตั้งเซ็นเซอร์ในตำแหน่งที่อาจเกิดปัญหา เช่น การไหลผิดปกติ การขัดขวางอย่างกระทันหัน การขาดช่วงของสิ่งที่ตรวจวัด หรือเครื่องมือเสียหาย การตรวจวัดโดยทั่ว ๆไป เช่น

- Solids flow sensing
- Flow/no-flow detection
- High-flow/low-flow indication
- Filter monitoring and switching
- Broken filter bag detection
- Inflow blockage detection
- Cyclone blockage detection
- Screen damage detection
- Route verification

ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ในการป้อนกลับระบบสัญญาณ/ควบคุมซึ่งแสดงถึงเครื่องปิดกั้นหรือสิ่งกีดขวาง (Blockage) ดังรูปที่ 6 ในกรณีนี้ หน่วยการควบคุมสำหรับเซ็นเซอร์ใช้เครื่องควบคุมเวลา (A Programmable Start-delay Timer) เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณเตือนระหว่างช่วงเวลาวัตถุดิบเดินทางไปสู่ฮอปเปอร์ เซ็นเซอร์สามารถตรวจวัดสิ่งกีดขัดขวางในรางเทที่อยู่ใต้ฮอปเปอร์หลังรีเลย์ (The Programmable Start-up Delay) ดังนั้น สัญญาณรีเลย์ในหน่วยควบคุมจะกระตุ้นให้หยุดป้อนวัตถุดิบโดยที่สายพานไม่ต้องหยุดทำงาน เพื่อวัตถุดิบจะไม่หกบนสายพาน



รูปที่ 6 แสดงการป้อนกลับระบบควบคุม/ส่งสัญญาณ

การติดตั้ง (Installation)

เซ็นเซอร์มีน้ำหนักประมาณ 1 ปอนด์ (หรือประมาณ 453.59 กรัม) สามารถติดตั้งได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือขั้นตอนพิเศษใดๆ เพื่อให้เป็นประโยชน์เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะอย่าง เช่น การติดตั้งโดยระยะห่างของรูและสลัก การตีและการเจาะ (Drilling and Tapping) แผ่นจับยึด (Mounting Disc) หรือแถบเหล็กปิดที่ยื่นออกมา (Extension Tab) เซ็นเซอร์อาจจะขันสกรูด้วยสลัก หรือยึดติดกับที่ ไม่จำเป็นต้อง Calibration เป็นพิเศษหลังการติดตั้ง ยกเว้นการตั้งระดับสัญญาณเตือน ระบบนี้สามารถใช้ได้ในหลายกระบวนการทางอุตสาหกรรม เพราะเซ็นเซอร์มีทางเลือกได้มากมาย การเลือกตัวจับยึด (The Mounting Option) ซึ่งจะให้การถ่ายโอนพลังงานที่เหมาะสมที่สุดไปยังเซ็นเซอร์ ให้เป็นประโยชน์ต่อการติดตั้งสูงสุด และคุณลักษณะการตรวจวัดที่ดีที่สุด เซ็นเซอร์ควรจะตั้งใกล้แหล่งที่ปล่อยเสียงสะท้อนออกมามากที่สุดจากท่อหรืองานขนถ่าย (Chute Work) ใกล้กับข้อต่อหรือท่องอ

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ เช่น

ข้อควรทำ

- ตรวจสอบที่ตั้งของเซ็นเซอร์ เพื่อความเข้มของสัญญาณเสียงสูงที่สุด
- ใช้สารเคมีบางชนิด (An Acoustic Bonding Agent) ที่เหมือนกับน้ำมันหล่อลื่น
  ซิลิกอนเพื่อให้การถ่ายโอนพลังงานสูงที่สุด
- แยกเซ็นเซอร์จากแหล่งกำเนิดเสียงความถี่สูงมากๆ (Extraneous High-frequency Acoustic Emission Sources)
- เลือกใช้ตัวจับยึด (The Mounting Tab Option) ถ้าอุณหภูมิพื้นผิวเกินข้อจำกัดของเซ็นเซอร์

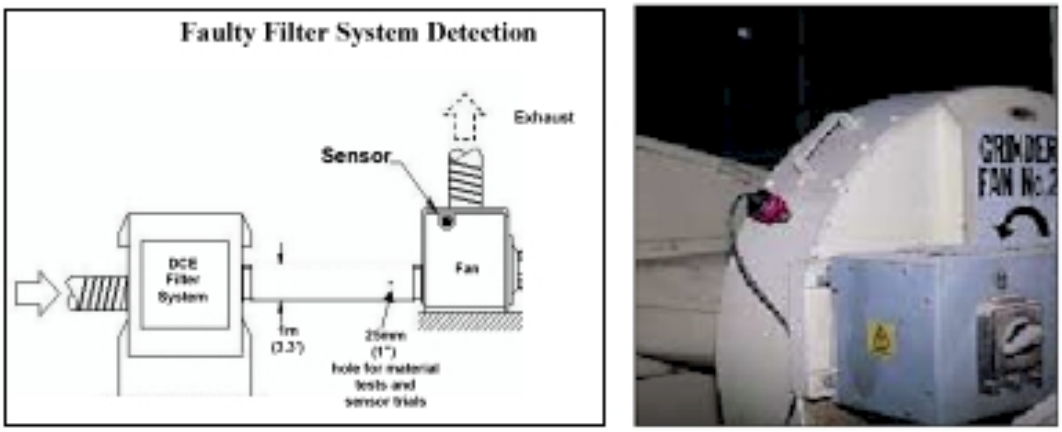
ข้อควรระวัง

- ไม่ควรติดตั้งเซ็นเซอร์บนรางเทหรือท่อตามแนวยาว
- ไม่ควรติดตั้งบนแผ่นจับยึด (Mounting Tab) ถ้ามีสัญญาณอ่อน
- ไม่ควรติดตั้งบนกระบวนการไหลของแข็งอื่น ๆในโรงงานโดยไม่มีการทดสอบซึ่งการใช้งานเฉพาะอย่างภายใต้สภาวะการปฏิบัติงานก่อนเวลา

กรณีศึกษา (Case Study)

การตรวจวัดความเสียหายของระบบรวบรวมฝุ่น (Faulty Dust Collection System Detection)

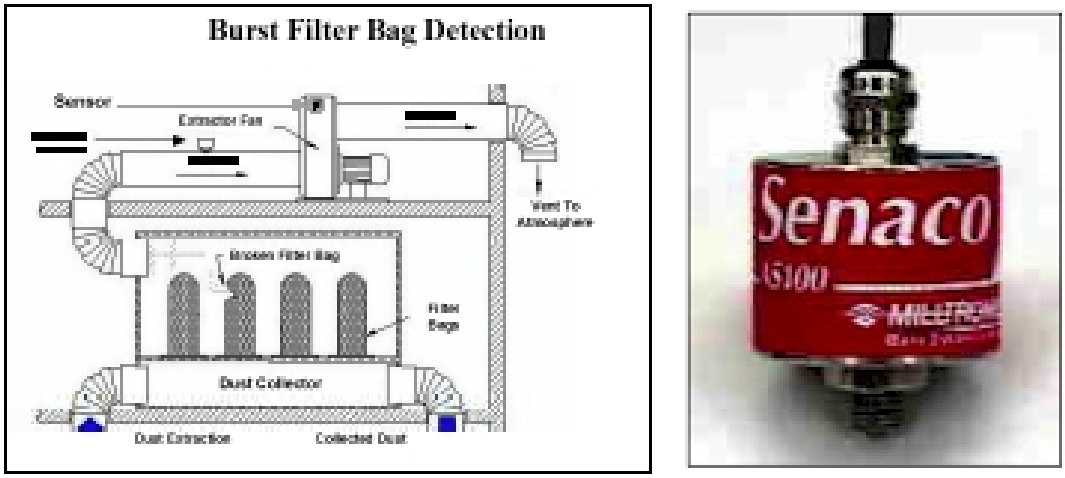
ในกระบวนการผลิตของโรงงาน นอกจากการควบคุมคุณภาพสินค้าให้ได้มาตรฐานแล้ว ยังต้องควบคุมการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการผลิต เช่น ในกระบวนการบด (Grinding/milling Processes) จำเป็นต้องมีระบบการกำจัดฝุ่นและระบบการตรวจวัดที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ในอุตสาหกรรมบางประเภทยังสามารถนำฝุ่นกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบได้อีกด้วย และเพื่อป้องกันและหลีกเลี่ยงการปล่อยฝุ่นออกไปสู่สิ่งแวดล้อม ถ้าหากระบบการป้องกันฝุ่นที่ใช้อยู่เกิดการชำรุดหรือถุงกรองฝุ่นรั่วเป็นผลทำให้สูญเสียวัตถุดิบและปล่อยฝุ่นออกสู่สิ่งแวดล้อมมากเกินไป



รูปที่ 7 แสดงเซ็นเซอร์ตรวจวัดถุงกรองที่รั่วในระบบการกรองแบบ DCE

ในระบบกำจัดฝุ่นแบบไม่มีลมวน (Non-cyclonic) และแบบไม่มีประจุ (Non-ionization) จะใช้ถุงกรองแบบเปลี่ยนได้ ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนถุงกรองเป็นประจำตามกำหนดเวลาสามารถลดความเสี่ยงจากความสูญเสียวัตถุดิบได้ แต่ถ้าไม่มีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องแล้ว อาจทำให้อุปกรณ์สึกหรอและเสียหายก่อนเวลา และบางครั้งถุงกรองอาจรั่วก่อนเวลา เทคโนโลยีตรวจวัดนี้ สามารถช่วยตรวจวัดถุงกรองเก็บฝุ่นที่ขาดหรือรั่วได้ โดยตรวจวัดจากอนุภาคฝุ่นซึ่งผ่านระบบการกรองกระทบกับพัดลมดูดก่อให้เกิดระดับเสียงออกมามากกว่าปกติ ซึ่งจะถูกตรวจจับอย่างทันทีทันใดโดยเซ็นเซอร์

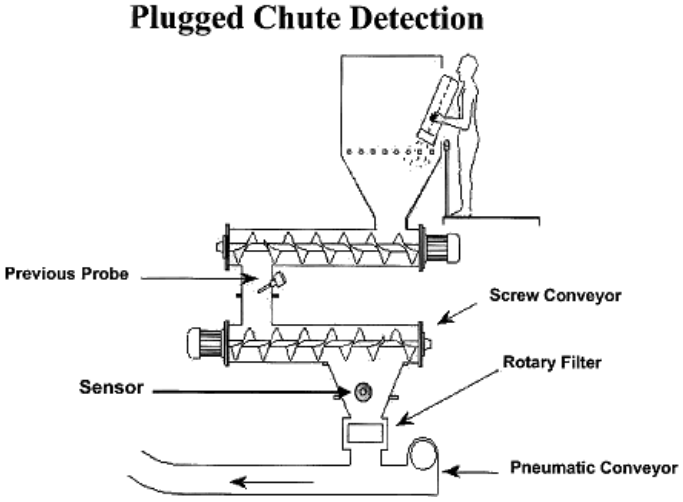
รูปที่ 8 แสดงเซ็นเซอร์ถูกติดตั้งบนท่อทางเข้าไปสู่พัดลมดูด เพื่อตรวจจับเสียงเพิ่มขึ้นที่ปล่อยออกมา ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ถุงกรองแตกหรือรั่ว เซ็นเซอร์นี้สามารถตรวจจับถุงกรองที่เสียและส่งสัญญาณเตือนปัญหาดังกล่าวไปยัง เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบในโรงงานได้



รูปที่ 8 แสดงเซ็นเซอร์ตรวจวัดถุงกรองรั่วในระบบรวบรวมฝุ่น

การตรวจวัดการอุดตันของรางเท (Plugged Chute Detection)

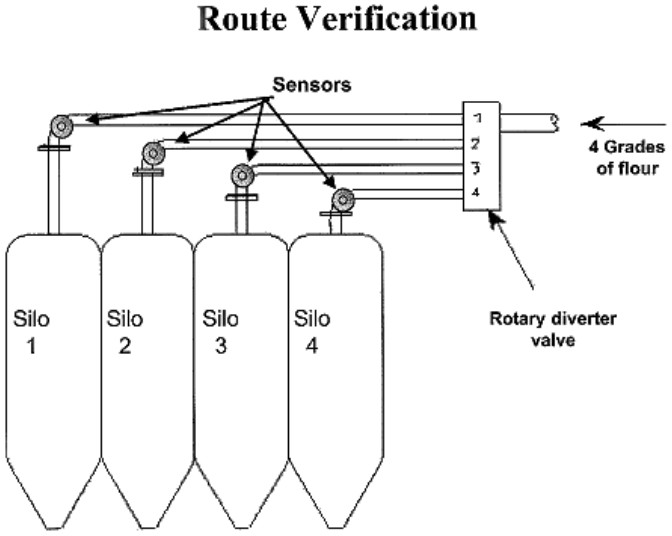
รูปที่ 9 แสดงการใช้งานสายพานแบบเกลียว (Screw Conveyors) เพื่อย่อยเศษผงหรือก้อนแร่ ซึ่งถูกป้อนจากถุงด้านบนไปยังฮอปเปอร์ สวิชต์ (A Point Level Switch) ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการติดขัดในรางเทระหว่างสายพาน อย่างไรก็ตาม เศษผงแร่บางชนิดที่มีลักษณะเหนียวอาจจะรวมกันเป็นก้อนในสวิชต์เป็นสาเหตุให้ตรวจวัดและส่งสัญญาณผิดพลาด เซ็นเซอร์ถูกติดตั้งบนทางปล่อยไปยังสายพานสายที่สองและปรับเสียงสัญญาณเตือนระหว่างสภาวะที่ไม่มีการไหล ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาการอุดตันได้ ทำให้สามารถลดจำนวนการทำความสะอาดและเวลาที่เสียไป



รูปที่ 9 แสดงเซ็นเซอร์ติดตั้งบนทางปล่อยของสายพานชุดที่สอง สำหรับตรวจวัดสภาวะที่ไม่มีการไหล

การตรวจสอบเส้นทางตามท่อ (Route Verification)

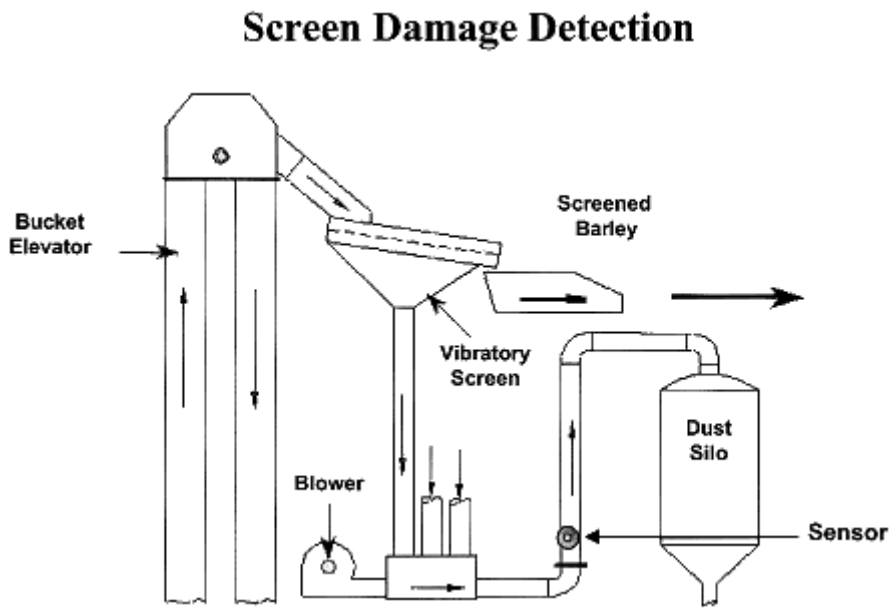
กระบวนการผลิตหลายประเภทที่ต้องมีการบดวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์หลายขั้นตอนจนได้ผลิตภัณฑ์ขนาดเมซ (Mesh) ต่าง ๆตามต้องการ ทั้งการผลิตแบบครั้งต่อครั้ง (Batch)หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous) โดยเฉพาะในกรณีของผลิตภัณฑ์แร่ ซึ่งใช้ขนาดของแร่บดเป็นเกณฑ์ในการแบ่งเกรดผลิตภัณฑ์ดังนั้น จำเป็นต้องมีท่อแยกขนาดแร่เมซต่าง ๆที่ถูกบดไปเก็บยังไซโล (Silo) ที่เหมาะสม แบ่งโดยสายลำเลียงการผลิตครั้งต่อครั้ง การส่งแร่ที่บดแล้วไปยังไซโลผิดประเภท ทำให้สูญเสียผลิตภัณฑ์จำนวนมาก รูปที่ 10 แสดงการใช้เซ็นเซอร์ติดตั้งบนท่อที่ต่อไปยังไซโลต่าง ๆ



รูปที่ 10 แสดงเซ็นเซอร์ตรวจสอบทางเดินตามท่อ

การตรวจวัดความเสียหายของตะแกรงสั่นคัดขนาด (Screen Damage Detection)

กระพ้อลำเลียง (Grain Elevators) ก้อนแร่จะถูกส่งต่อไปยังตะแกรงสั่นคัดขนาดเพื่อแยกฝุ่นและเศษขยะออกไป ก้อนแร่จะไหลไปตามระบบสายพานตามแรงโน้มถ่วงโลก ซึ่งตลอดระยะเวลาการผลิตแร่นั้นสายพานอาจจะถูกกัดกร่อน และตะแกรงอาจเกิดรูขึ้นจากเม็ดแร่ ซึ่งสามารถลอดรูของตะแกรงสั่นได้ และปล่อยให้เม็ดแร่เข้าไปในระบบรวบรวมฝุ่น ทำให้สูญเสียมูลค่าของแร่ไปจากระบบ และอาจจะเป็นต้นเหของปัญหาเรื่องขนาดแร่ไม่ได้ตามต้องการที่กระบวนการขั้นปลาย ในการใช้งานของเซ็นเซอร์ลักษณะนี้จะติดตั้งเพื่อตรวจวัดเสียงจากเม็ดแร่ที่หลุดมายังบริเวณท่อทางเข้าไปสู่ไซโลเก็บฝุ่นที่บริเวณท่องอ



รูปที่ 11 แสดงเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเสียหายตะแกรงสั่นคัดขนาด

เอกสารอ้างอิง

จากเว็บไซต์
http://www.powderandbulk.com/pb_services/ask_joe_archive/adapting_acoustic_monitoring.htm ,Sheldon V. Shepherd, Industry Consultant Siemens Milltronics, Inc.