ทรายแก้วเป็นสารเคมีได้อย่างไร

นางสาวมยุรี ปาลวงศ์[a] และ อภิรัฐ ธีรภาพวิเศษพงษ์[b]
[a]กลุ่มเศรษฐกิจแร่และอุตสาหกรรมพื้นฐาน สำนักพัฒนาและส่งเสริม
[b]กลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐาน 2 สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน

ทรายแก้ว หรือทรายขาว (Glass Sand) คือ ทรายบริสุทธิ์ที่มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ หรือ ซิลิกา (SiO_2) มากกว่า 95 % ขึ้นไป และมีสารอื่นเจือปนอยู่บ้างเล็กน้อย ได้แก่ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และสารอินทรีย์
ทรายแก้วใช้เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตสารเคมีและสารประกอบต่างๆ โดยทั่วไปการผลิตสารเคมีจะใช้ทรายแก้วที่มีส่วนประกอบของซิลิกา 99 % ขึ้นไป อะลูมิเนียมออกไซด์ ไม่เกิน 0.5 % และเหล็กออกไซด์ ไม่เกิน 0.1 % สารเคมีที่ใช้ทรายแก้วเป็นวัตถุดิบในการผลิต มีดังนี้

1. **โซเดียมซิลิเกต** ($Na_2O{\cdot}n(SiO_2)$) เป็นสารที่ประกอบด้วย โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) และซิลิกา ผสมกันอยู่โดยมีสัดส่วนต่างๆ กัน แล้วแต่ชนิดและการนำไปใช้ ได้แก่ โซเดียม ออร์โทซิลิเกต (Na_4SiO_4) โซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) โซเดียมพอลีซิลิเกต ($Na_2SiO_3)_n$ โซเดียมไพโรซิลิเกต ($Na_6Si_2O_7$) และอื่นๆ มีลักษณะคล้ายแก้วใส ไม่มีสี สามารถละลายน้ำได้ โซเดียมซิลิเกตเกิดจากการหลอมส่วนผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนต หรือโซดาแอช (Na_2CO_3) กับทรายแก้ว เมื่อหลอมเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วจะได้โซเดียมซิลิเกต และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โซเดียมซิลิเกตเป็นสารที่สามารถละลายได้ในน้ำ สารละลายโซเดียมซิลิเกตมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Waterglass ใช้เป็นสารเคมีสำหรับอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมผงซักฟอก อุตสาหกรรมฟอกสี อุตสาหกรรมผลิตสารทำความสะอาด เป็นต้น

กระบวนการผลิตโซเดียมซิลิเกต

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมแก้วคัลเลท (Cullet Preparation)

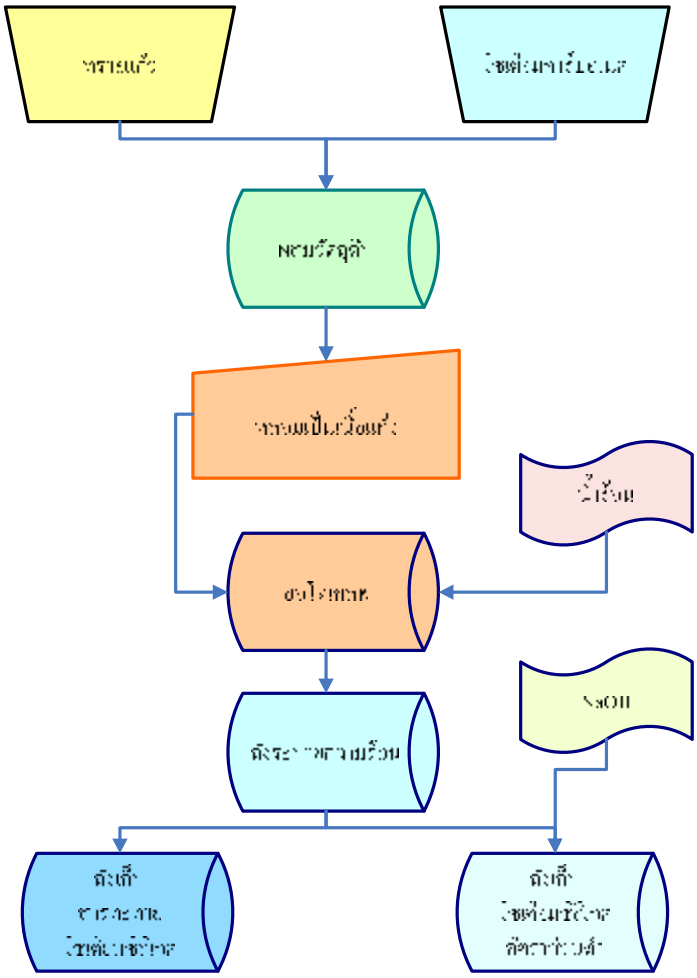
โซเดียมซิลิเกตจะถูกเตรียมด้วยการหลอมของผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และทรายแก้วที่ช่วงอุณหภูมิ 1,200 – 1,400^{0}C ขึ้นอยู่กับลักษณะเตา และอัตราส่วนผสม เมื่อหลอมแล้วจะได้แก้วที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous Glass) โดยทั่วไปจะเรียกว่า คัลเลท (Cullet) หรือเศษแก้ว ที่สามารถละลายได้ในน้ำเพื่อใช้ผลิตเป็นไฮเดรตโซเดียมซิลิเกตในรูปต่างๆต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การเปลี่ยนเป็นสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Water glass)

เศษแก้วโซเดียมซิลิเกตที่หลอมได้จะถูกนำไปใส่ในถังปฏิกรณ์ ออโตเคลฟ (Auto Clave) ซึ่งเป็นถังระบบปิดสามารถควบคุมความดันและอุณหภูมิได้ น้ำร้อนและไอน้ำจะถูกปล่อยเข้าไปในถังเพื่อละลายเศษแก้วอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเศษแก้วละลายหมดและได้ความเข้มข้นตามต้องการ

ขั้นตอนที่ 3 การปรับอัตราส่วนผสม

สารละลายโซเดียมซิลิเกตจากขั้นตอนที่สองจะถูกส่งไปยังถังพัก (Intermediate Tank) เพื่อลดอุณหภูมิให้เย็นลง และนำเข้าสู่ถังเก็บ (Storage Tank) ในถังเก็บนี้อาจจะมีการใส่สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงไปเพื่อลดอัตราส่วนของ SiO_2 ต่อ Na_2O ให้ต่ำลง สำหรับบางผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตโซเดียมซิลิเกต

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าโซเดียมซิลิเกตมีอัตราส่วนระหว่าง Na_2O และ SiO_2 ได้หลายอัตราส่วนซึ่งทำให้มีคุณสมบัติในการนำไปใช้งานต่างกันด้วย โดยทั่วไปโซเดียมซิลิเกตสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆได้มากมาย อันเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัว ดังนี้

1. โซเดียมซิลิเกตที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง และทำหน้าที่เป็นสารควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่า pH (Buffer) ที่ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากในการนำไปใช้ในผงซักฟอก การฟอกสีกระดาษ และเส้นใย

2. โซเดียมซิลิเกตที่มี Mole Ratio สูง จะป้องกันการกัดกร่อนได้ดี สามารถลดการกัดกร่อนโดยเกาะเป็นชั้นเคลือบอยู่ระหว่างผิวหน้าของโลหะกับอโลหะ
3. คาร์บอนไดออกไซด์สามารถทำให้โซเดียมซิลิเกตมีคุณสมบัติเป็นกลางแล้วก่อตัวเป็นเจลได้ ซึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ (Foundry) โดยพันธะของทรายในซิลิเกตจะจับตัวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดการขึ้นรูปอย่างรวดเร็ว

โซเดียมซิลิเกตในผงซักฟอก (Detergents)

โซเดียมซิลิเกตให้คุณสมบัติเฉพาะในสูตรการผลิตผงซักฟอกที่สำคัญ คือ

- ช่วยป้องกันการกัดกร่อนชิ้นส่วนโลหะในเครื่องซักผ้า
- ป้องกันการกัดกร่อนเครื่องแก้วและเซรามิก ระหว่างการล้างจานด้วยเครื่อง
- ความสามารถในการเป็นสารช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลง pH ที่สำคัญในช่วง pH 9-12
- ความเป็นด่างจะปรับสภาพสิ่งสกปรกที่เป็นกรดให้เป็นกลางได้
- เป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา Emulsification และ Saponification ทำให้น้ำมันแตกตัวผสมกับน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ทำให้สิ่งสกปรกกระจายตัวออกจากกัน ไม่เกาะเป็นก้อน

โซเดียมซิลิเกตในสารเคมี (Chemicals)

- ซิลิกาเกรดใช้งานทั่วไป (Commercial Grade) สามารถผลิตโดยกระบวนการทำสารละลายให้เป็นกลาง (Neutralization) หรือ กระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่านไฟฟ้า (Electromembrane) ที่เรียกว่า Electrodialysis
- เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดในภาวะที่เหมาะสม โซเดียมซิลิเกตจะเปลี่ยนเป็นซิลิกาเจล หรือเกิดการตกตะกอนของซิลิกา ซึ่งถูกนำไปใช้เป็นตัวเติม (Filler) และสารเสริมแรง (Reinforcing Agent) ทำให้โครงสร้างภายในของยางมีความแข็งแรงทนต่อการฉีกขาดและการขัดสี สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ยางประเภทต่างๆได้ เป็นสารดูดความชื้นสำหรับก๊าซแห้ง เป็นตัวเติมในเนื้อยาสีฟันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารขัดฟัน
- ใช้ผลิต Zeolite ซึ่งเป็นผลึกของอะลูมิโนซิลิเกต ได้จากการสังเคราะห์โซเดียมซิลิเกตและโซเดียมอะลูมิเนต
- ใช้เป็นวัตถุดิบของซิลิกาที่ละลายน้ำได้ในการผลิต Titanium Dioxide

- ใช้ในกระบวนการฟอกสีด้วย Hydrogen Peroxide ทั้งในอุตสาหกรรมกระดาษและเส้นใย เพื่อปรับปรุงความขาวสว่าง และเป็นสารฟอกสีเพอร์ออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพ โดยจะสร้างพันธะ หรือจับไอออนของโลหะแทรนซิชันซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสี เช่น เหล็ก แมงกานีส และทองแดง เป็นต้น
- ใช้ในการบำบัดน้ำ โดยเกลือของกรดจะถูกดึงประจุออกไปรวมกับซิลิเกตให้เป็นกลางและจะเกิดสารละลายประจุบวกขึ้น ซึ่งเป็นตัวเพิ่มการรวมตัวของตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับใช้ร่วมกับอะลูมินัมซัลเฟต
- ใช้ในกระบวนการลอยแร่ ซึ่งเป็นการแยกแร่ หรือแต่งแร่วิธีหนึ่ง
- ใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวในส่วนผสมวัตถุดิบพวกปูนขาวและน้ำดินในกระบวนการผลิตซีเมนต์พอร์ตแลนด์แบบเปียก (Wet Process)

โซเดียมซิลิเกตสามารถใช้เป็นสารยึดติด (Adhesive) หรือกาว ซึ่งแทบจะเป็นเพียงสาร อนินทรีย์ชนิดเดียวที่มีพันธะแข็งแรงมาก สามารถเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะกึ่งของแข็งได้อย่างรวดเร็ว โดยมีการสูญเสียน้ำในโครงสร้างเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้โซเดียมซิลิเกตที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสารทำความสะอาด จะช่วยเพิ่มความสามารถในการชะล้าง ลดแรงตึงผิวและความหนืดของสบู่เหลว

2. **ซิลิกาและอะลูมิเนียมซิลิเกต** (SiO_2 and $Al\ SiO_3$) เป็นสารเติมที่ให้สีขาว ผงละเอียดมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง จึงมีความสามารถในการดูดซับได้ดีมาก กรรมวิธีการผลิตได้จากการเกิดปฏิกิริยาแล้วตกตะกอน (Precipitation) ของสารละลายโซเดียมซิลิเกตกับกรดซัลฟิวริกหรือกับสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต ขึ้นกับประเภทของผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติของซิลิกาและอะลูมิเนียมซิลิเกต

- ใช้เป็นสารทดแทนไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) บางส่วนอยู่ในสีทาบ้านและกระดาษ ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ช่วยให้สีมีความคงตัวสามารถเก็บได้นานโดยสีจะไม่แยกชั้นและมีความขาวมากขึ้น
- ใช้เป็นสารช่วยการไหลตัว (Free-Flowing) และตัวพา (Carrier) ในปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลง ยาปราบวัชพืช อาหาร ยารักษาสัตว์
- ใช้เป็นสารต้านการจับตัวเป็นก้อน (Anti Caking Agent) ในเครื่องปรุงอาหารหรือครีมเทียมและนมผง
- ใช้เป็นตัวเพิ่มความหนืดและป้องกันการตกตะกอน (Thickener) ในยาสีฟัน สารในยาสีฟันเป็นของเหลวซึ่งยากต่อการใช้งาน สารซิลิกาจะช่วยดูดซับสารประกอบอื่นๆ ทำให้ยาสีฟันมี

ลักษณะข้นคงรูปเมื่อถูกบีบออกจากหลอดยาสีฟัน

- ใช้เป็นสารสร้างรูพรุน (Pore Builder) ในแผ่นกั้นเซลของแบตเตอรี (Battery Separator) ทำให้มีการแลกเปลี่ยนอิออนและเกิดกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรีได้

กระบวนการผลิตซิลิกาและอะลูมิเนียมซิลิเกต

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมแก้วคัลเลท *(Cullet Preparation)*

โซเดียมซิลิเกตจะถูกเตรียมด้วยการหลอมของผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และทรายแก้วที่ช่วงอุณหภูมิ 1,200 – 1,400^{O}C ขึ้นอยู่กับลักษณะเตา และอัตราส่วนผสม เมื่อหลอมแล้วจะได้แก้วที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous Glass) โดยทั่วไปจะเรียกว่า คัลเลท (Cullet) หรือเศษแก้ว ที่สามารถละลายได้ในน้ำเพื่อใช้ผลิตเป็นไฮเดรตโซเดียมซิลิเกตในรูปต่าง ๆ ต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การเปลี่ยนเป็นสารละลายโซเดียมซิลิเกต *(Water Glass)*

เศษแก้วโซเดียมซิลิเกตที่หลอมได้จะถูกนำไปใส่ในถังปฏิกรณ์ ออโตเคลฟ (Autoclave) ซึ่งเป็นถังระบบปิดสามารถควบคุมความดันและอุณหภูมิได้ น้ำร้อนและไอน้ำจะถูกปล่อยเข้าไปในถังเพื่อละลายเศษแก้ว อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเศษแก้วละลายหมดและได้ความเข้มข้นตามต้องการ

ขั้นตอนที่ 3 การเกิดปฏิกริยากับอะลูมิเนียมซัลเฟต

สารละลายโซเดียมซิลิเกต จะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกหรือกับสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตในถังปฏิกรณ์ (Reactor) ควบคุมอุณหภูมิ pH และอัตราการไหลของวัตถุดิบ ขั้นตอนนี้จะได้ตะกอนในรูปสารแขวนลอยก่อนถูกส่งไปเข้าถังพัก

ขั้นตอนที่ 4 การกรอง

สารแขวนลอยจากถังพักจะถูกส่งเข้าเครื่องกรองฟิลเตอร์เพลส (Filterpress) เพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำและล้างเกลือซัลเฟตที่ติดมากับตะกอน ตะกอนที่ได้จะถูกส่งไปยังถังพักเพื่อรอการอบแห้ง ส่วนน้ำที่แยกออกไปจากการกรอง จะถูกส่งไปบำบัดและส่งเข้าสู่ระบบอีกครั้ง

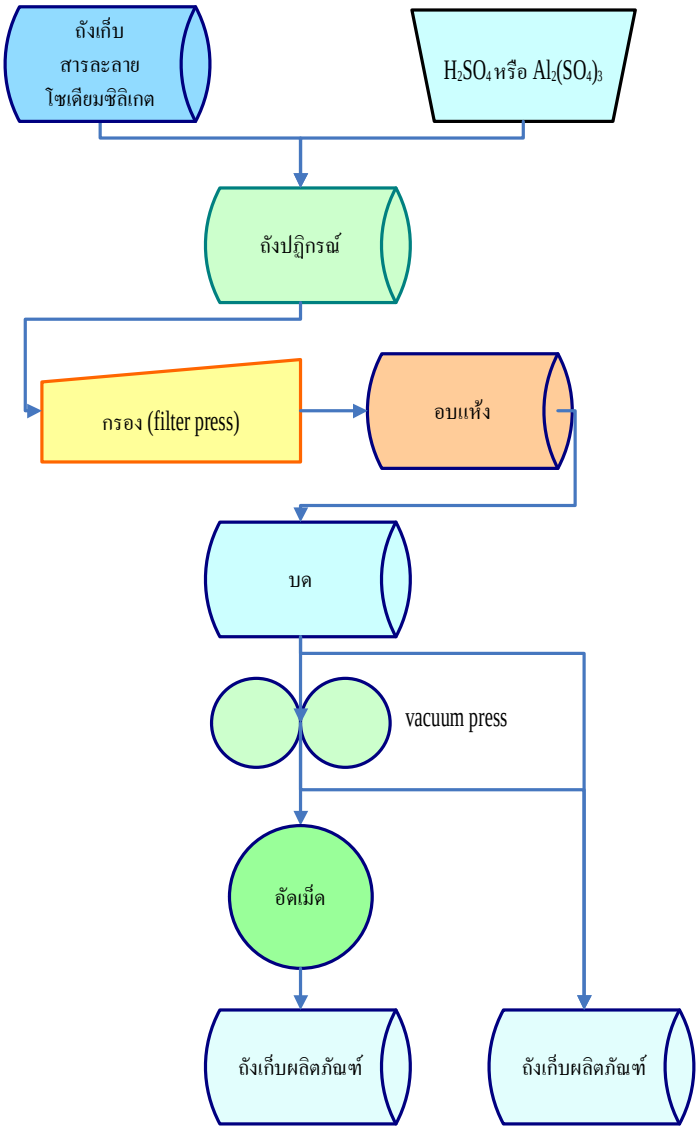
ขั้นตอนที่ 5 การอบแห้ง

ตะกอนที่ได้จากเครื่องกรองจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 70-80 โดยน้ำหนัก จะถูกส่งเข้าเครื่องอบแห้ง (Dryer) โดยผ่านระบบการป้อนผ่านสกรูขับ ตะกอนจะถูกอบให้แห้งด้วยลมร้อนจนแห้ง จากนั้นนำไปเข้าเครื่องแยกผง (Bag Filter) ด้วยระบบนิวเมติก ผลิตภัณฑ์ชนิดผง (ซิลิเกตหรืออะลูมิเนียมซิลิเกต) นี้ถูกเก็บในถังอบแห้ง เพื่อรอเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 การลดขนาดผงละเอียดก่อนบรรจุหีบห่อ

นำผลิตภัณฑ์ผง (ซิลิกาหรืออะลูมิเนียมซิลิเกต) ที่ได้มาบดคัดขนาด ด้วยระบบลมให้อนุภาคชนกันเอง และถูกบดและตีโดยตัวตี (Beater) จนมีขนาดเล็กลง จะถูกลมดูดผ่านเครื่องคัดขนาดเข้าสู่เครื่องแยกผง จากนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกส่งไปยังถังเก็บเพื่อบรรจุหีบห่อรอจำหน่าย

ผลิตภัณฑ์ (ซิลิกาหรืออะลูมิเนียมซิลิเกต) ที่บดละเอียดจนได้ขนาดอาจจะมีความหนาแน่น (Bulk Density) ต่ำเกินไป เมื่อนำไปใช้จะฟุ้งกระจาย จึงนำมาผ่านลูกกลิ้งระบบสุญญากาศ (Vacuum Compactor) เพื่อความหนาแน่นก่อนอัดเป็นเม็ด ด้วยเครื่องอัดเม็ด (Granulator) ก่อนส่งเก็บลงถังเก็บผลิตภัณฑ์อัดเม็ดเพื่อบรรจุถุงด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก เก็บในคลังสินค้าเพื่อจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตซิลิกาและอะลูมิเนียมซิลิเกต

3. **ซิลิกาเจล** (Si) โซเดียมซิลิเกตเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดในสภาวะที่เหมาะสมก็จะเปลี่ยนเป็นซิลิกาเจล ซิลิกาเจล เป็นสารดูดความชื้นที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ใส่โหลดูดความชื้นสำหรับห้องปฏิบัติทางเคมี ใส่ในห่อของเพื่อดูดความชื้นระหว่างการขนส่ง ใช้ในเครื่องดูดความชื้น และใช้ในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ เป็นต้น ซิลิกาเจลที่ใช้ทั่วไปมีลักษณะเป็นเม็ดกลมๆ เหมือนลูกปัดบางครั้งมีการใส่ ลิเธียมคลอไรด์ซึ่งสามารถเปลี่ยนสีได้ คือ เป็นสีน้ำเงินเมื่อแห้งและเป็นสีชมพูเมื่อดูดความชื้นเข้าไปมากพอ ซิลิกาเจลไม่มีพิษ สามารถดูดความชื้นได้ถึง

ร้อยละ 40 ของน้ำหนักตัวและสามารถไล่ความชื้นออกได้โดยการเผาหรืออบที่อุณหภูมิ 170°C หรือคั่วบนกระทะหุงต้ม ซึ่งทำให้สามารถนำมาใช้ซ้ำแล้วซ้ำอีกได้

4. **แคลเซียมซิลิเกต** ($Ca\ SiO_3$) เป็นฉนวนกันความร้อนแบบมีความพรุนสูง ประกอบด้วยไฮดรัสแคลเซียมซิลิเกต โดยระหว่างกรรมวิธีการผลิต ไอน้ำจะเปลี่ยนรูปหินปูนและซิลิกาไปเป็นไฮดรัสแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งแรง ทนทาน นิยมนำไปใช้ในการหุ้มท่อ และภาชนะในกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ทำงานภายใต้อุณหภูมิสูง ซึ่งต้องการวัสดุที่นอกจากทนความร้อนแล้วยังจำเป็นต้องมีความทนทานต่อแรงอัดสูงอีกด้วย

5. **ซิลิกอนคาร์ไบด์** (SiC) ซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นสารที่ไม่พบในธรรมชาติ แต่เป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้น ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างถ่านโค้ก (coke) ซึ่งองค์ประกอบหลักคือ ธาตุคาร์บอน (C) กับทราย หรือ ซิลิกา (SiO_2) โดยการให้ความร้อนประมาณ 2,400-2,600 °C จะได้ ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) มีน้ำหนักโมเลกุล 40.07 และความถ่วงเฉพาะ 3.22 มีสมบัติเป็นวัสดุเซรามิก ที่มีความแข็งแรงสูง ทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลัน มีความต้านทานต่อการขัดสี มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ สามารถใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ ชิ้นส่วนที่ใช้ในเตาเผา (Kiln Furniture) ลวดไฟฟ้า (Heating Element) สำหรับเตาเผาอุณหภูมิสูง ใบมีดตัดโลหะ กระดาษทราย ใช้เป็นชิ้นส่วนทำหัวไอพ่นในจรวด ทำเบ้าหลอมโลหะ ตัวต้านทานไฟฟ้า

สรุป

ทรายแก้วสามารถผลิตเป็นสารเคมีได้ โดยใช้ผสมกับโซเดียมคาร์บอเนต หรือ โซดาแอช (Na_2CO_3) ในสัดส่วนที่เหมาะสม นำเข้าสู่กระบวนการหลอมจะได้สารละลายที่เรียกว่า “โซเดียมซิลิเกต” ใช้เป็นสารเคมีในอุตสาหกรรมการผลิตผงซักฟอก อุตสาหกรรมฟอกสี อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมผลิตสารทำความสะอาดต่างๆ ตลอดจนใช้ในกระบวนการลอยแร่ นอกจากนี้สารละลายโซเดียมซิลิเกตที่ทำปฏิริยากับกรดซัลฟิวริกและตกตะกอนจะเปลี่ยนเป็นซิลิกา หากทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมซัลเฟตและตกตะกอนจะเปลี่ยนเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกต ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ทดแทนไททาเนียมไดออกไซด์ ใช้เป็นสารช่วยการไหลตัวในการผลิตปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยาปรับวัชพืช ใช้เป็นสารต้านการจับตัวเป็นก้อนในเครื่องปรุงอาหาร ครีมเทียม หรือใช้เป็นตัวเพิ่มความหนืดและป้องกันการตกตะกอนในยาสีฟัน ส่วนโซเดียมซิลิเกตที่ทำปฏิกิริยากับกรดก็จะเปลี่ยนเป็นซิลิกาเจล ซึ่งเป็นสารดูดความชื้น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมการเกษตร เป็นต้น นอกจากนี้ทรายแก้วยังใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซิลิกอนคาร์ไบด์และแคลเซียมซิลิเกตอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. http://www.smallindustryindia.com/publications/pmryprof/glass/ch23.pdf
2. http://www.costom-electric.com/SiliconCarbide.htm
3. Oyler, C. “Use of a sodium silicate gel grout for plugging horizontal methane drainage holes”. Washington : U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines. (1984)
4. Chenier, Philip J. “Survey of Industrial Chemistry”. Springer. (2002)
5. http://www.chemicalland21.com/industrialchem/inorganic/SODIUM%20SILICATE.htm
6. http://aol.bartleby.com/65/so/sodiumsi.html