

# แหล่งดินขาวในประเทศสหพันธ์รัฐ สาธารณรัฐเยอรมัน

โดย ชาญ จรรยาวิชัย

## 1. คำนำ

จากการไปร่วมประชุมระหว่างประเทศเรื่อง แร่อุตสาหกรรม ที่เมืองมิวนิค ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ระหว่างวันที่ 17–21 พฤษภาคม 2519 ในตอนท้ายของการประชุม มีการจัดให้ไปชมโรงงานและเหมืองแร่ต่าง ๆ ผู้เขียนได้มีโอกาสไปชมแหล่งแร่ดินขาวบริเวณ Hirschau และ Schnaitten bach ซึ่งเป็นแหล่งผลิตใหญ่ของแหล่งดินขาวทั้ง 3 แหล่ง ในบริเวณบาวาเรียภาคตะวันออก แหล่งดินขาวที่ Hirschau และ Schnaitten bach นี้ อยู่ห่างจากเมืองมิวนิคไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 200 กม. ใกล้กับชายแดนประเทศเชคโกสโลวาเกีย และได้เปิดดำเนินการมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1826 ปัจจุบันดำเนินการทำเหมืองด้วยวิธี open pit ใช้ Bucketwheel excavator ตักดินและลำเลียงโดยสายพานมายังโรงแต่งแร่

## 2. ธรณีวิทยาแหล่งแร่

แหล่งดินขาวที่ Hirschau และ Schnaitten bach อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของเมือง Weiden ห่างประมาณ 20 กิโลเมตร ดำเนินการทำเหมืองด้วยวิธี Open pit แหล่งแร่กว้างประมาณ 300–450 เมตร ยาวประมาณ 6 กม. ในแนวตะวันออก–ตะวันตก

รายละเอียดทางธรณีวิทยาแหล่งแร่ ได้จากการสำรวจทางธรณีวิทยาและการค้นคว้าวิจัยทางแร่และธรณีเคมีของหิน ซึ่งพอจะรวบรวมได้ว่า ในปลายยุค Permian ต่อกับ Triassic การเปลี่ยนแปลงทางธรณชาติทำให้หินแกรนิตและหินไนส์เกิดการแตกสลาย มีการผุพังอย่างรุนแรง และทับถมเป็นชั้นหนาประมาณ 200–300 เมตรในแอ่ง Weiden ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกของเทือกเขา Moldanubian และประกอบไปด้วยกรวด หิน ทรายส์แดง และดินกรรณถึงยุค Middle Buntsandstein ชั้นกรวดหินดินทรายยุค Permo–Triassic นี้ถูกทับถมด้วยชั้นของ Arkose (Arkose เป็นชั้นหินทรายประกอบด้วยควอท และเฟลสปาร์เป็นส่วนใหญ่)

หนาประมาณ 75 เมตร ชั้น Arkose หรือชั้นสายแร่ดินขาวนี้ประกอบด้วยแร่ขนาดเล็กลงและเกิด cross bedding เนื่องจากการพัดพาระหว่างการผุพังและการทับถม แร่โปแตสเซียมเฟลสปาร์ในชั้นสายแร่ดินขาวถูกเปลี่ยนสภาพเป็นแร่เคโอลิไนท์ ในยุคแรกของการทับถมภายใต้อิทธิพลของน้ำใต้ดินซึ่งแทรกซึมระหว่างสายแร่ดินขาวซึ่งมีความพรุนต่ำ การทับถมของชั้นสายแร่ดินขาวยังเกิดต่อเนื่องกันมาจนถึงยุค Middle Keuper หลังจากนั้นแอ่ง Weiden ก็ถูกทับถมต่อกับดินทรายเม็ดละเอียดระหว่างตอนปลายยุค Triassic ถึงยุค Coniacian รวมความว่าชั้นสายแร่ดินขาวที่ Hirschau-Schnaittenbach เกิดขึ้นในยุค Triassic และการเกิดของแร่ในสายแร่เป็นแบบอยู่กับที่ปนกับแบบทุติยภูมิ

สายแร่ดินขาวแห่งนี้ลาดเอียงประมาณ 7 องศา ทางทิศเหนือและอยู่ใต้การทับถมของชั้นหินยุคกลางและยุคปลาย Triassic ยุค Jurassic และ Cretaceous บริเวณทำเหมืองมี Scharhaf fault กั้นแบ่งแหล่งแร่ดินออกเป็นสองข้างโดยแหล่งแร่ทางทิศตะวันออกเป็น down fault

การเปลี่ยนสภาพจากแร่เฟลสปาร์ไปเป็นแร่เคโอลิไนท์เล็กน้อยในบริเวณนี้ไม่เท่ากัน คือที่ Schnaittenbach แหล่งแร่ดินขาวเกือบไม่มีแร่เฟลสปาร์ปนเลย ก็มีเปอร์เซ็นต์ แร่เคโอลิไนท์สูงสุด ปริมาณแร่เฟลสปาร์จะเริ่มขึ้นขณะที่แร่เคโอลิไนท์ลดลงไปทางทิศตะวันออกและทิศเหนือของ Schnaittenbach รวมทั้งทาง Hirschau ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าแร่เคโอลิไนท์ในบริเวณตอนกลางของชั้นดินขาวจะมีปริมาณสูงกว่าบริเวณระดับอื่น

### 3. ส่วนประกอบของแร่และธรณีเคมี

แหล่งแร่ในชั้นสายแร่ดินขาวประกอบด้วย แร่ควอตซ์, โปแตสเซียมเฟลสปาร์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Perthitic Microcline, เคโอลิไนท์ ส่วนไมก้าและแร่หนักอื่น ๆ มีปนเป็นส่วนน้อย แร่ควอตซ์ที่ปนมีลักษณะเป็นเม็ดหยาบ แร่เฟลสปาร์ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่าควอตซ์ แต่ยิ่งใหญ่กว่าดินขาว แร่เคโอลิไนท์แหล่งนี้เป็นชนิด well-order และให้ X-ray diffraction pattern เด่นชัด มีรูปร่างจากภาพถ่ายอิเล็กตรอนคงที่เป็นรูปผลึกแบบหกเหลี่ยม ในสายแร่ดินขาวมีแร่มีสโคไวท์และไบโอไทท์ปนอยู่เล็กน้อย แร่ Dioctahedral illite พบในส่วนของดินขาว

ที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร แร่อื่น ๆ ที่ปนในช่วงทรายละเอียด มีอิลเมไนท์, ลูโคซีน, อนาคต, รูไทล์, ซีมาไทท์, ทัวมาลีน, โมนาไซต์, ซีโนไทม์, เซอร์คอน และที่พบบ้างในปริมาณน้อยมากคือ ซิลิเมไนท์, แอนคาลูไซต์, สตรอโรไลท์, แมกนีไทท์และสเฟิน โดยมี Moldanubian granite และ gneisses เป็นหินต้นกำเนิดของชั้นสายแร่ดินขาว

จากการคำนวณโดยอาศัยปริมาณควอทในหินต้นกำเนิด โดยเฉลี่ยแล้วปริมาณควอทในสายแร่ดินขาวควรมี 21–26 % แต่ทางปฏิบัติสายแร่ดินขาวมีปริมาณควอท 75–80 % แสดงว่าแต่ละต้นของสายแร่ดิน เกิดจากการผุสลายของหินแกรนิตและหินไนส์ ขณะที่แร่โปแตสเซียมเฟลสปาร์กำเนิดจากหินแกรนิตแต่เพียงอย่างเดียว จากการคำนวณโดยอาศัยปริมาณธาตุตะกั่ว, ทองแดง, โครเมียม, และฟอสฟอรัส ในโปแตสเซียมเฟลสปาร์และดินขาวพบว่า สายแร่ดินขาวก่อนเกิดการสลายตัวควรมี ควอท 55 % และโปแตสเซียมเฟลสปาร์ 45%

ธาตุหายากที่ปะปนในดินขาวนี้ ได้มาจากการสลายตัวของโปแตสเซียมเฟลสปาร์ในสายแร่ดิน แร่ดินจากแหล่งนี้แตกต่างจากแหล่งอื่นที่มีปริมาณ Sr, Ba, Pb, Cu, Cr หรือ P ก่อนข้างสูง แร่อื่น ๆ รวมทั้ง Ba และ Sr ซึ่งเดิมมีปริมาณก่อนข้างสูงกลับลดลงระหว่างการเปลี่ยนจากเฟลสปาร์มาเป็นดินขาว ปริมาณการเจือปนของ Pb, Cu, Cr และ P ในดินขาวที่วัดได้มีปริมาณมากเป็น 2 เท่าของปริมาณที่ควรจะได้จากการเปลี่ยนแปลงสภาพของเฟลสปาร์ จึงแสดงว่าแร่ดินขาวที่เกิดจากการสลายตัวของโปแตสเซียมเฟลสปาร์ มีเพียงครึ่งเดียวเท่านั้น

#### 4. การแต่งแร่

ปกติแล้วหลักการในการแต่งและล้างดินขาว คือวิธีการล้างดินและแยกเนื้อดินออกจากทรายและแร่อื่นด้วยการคัดขนาด ถ้าหากแหล่งแร่นั้นมีปริมาณเนื้อดินสูง เช่นกรณีของแหล่งทุติยภูมิที่มีเนื้อดินสูงกว่า 96 % การแต่งดินอาจใช้วิธีบดและคัดขนาดเพื่อที่จะให้ได้ความละเอียดตามต้องการเท่านั้น แต่โดยทั่วไปแล้ว แร่ดินขาวจากแหล่งปฐมภูมิและทุติยภูมิทั้งหลายมักจะมีพวกควอท และเฟลสปาร์ปนอยู่มาก ดินขาวมีถพ. 2.57 ควอทมีถพ. 2.65 ทำให้ไม่สามารถแยกโดยอาศัยความแตกต่างในการจมตัว หรือการแยกด้วยวิธี Heavy Media ให้ได้ผลดีได้ จึงต้องใช้การแยกที่เรียกว่า Selective Classification ส่วน Mica นั้น ปกติจะไหลไปกับน้ำดิน แต่เนื่องจากมีรูปร่างเป็นแผ่นและมีขนาดหยากกว่าดินจึงสามารถแยกได้โดยการผ่านตะแกรงคักไม้ก้า

ชนิดละเอียดและวางเรียงกับพื้นแยกไม่ก้ำออกจากน้ำดินขาว ในกรณีของแร่ดินขาวที่ Hirschau และ Schnaittenbach แร่เฟลสปาร์และควอทซ์ขนาดหยาบกว่าแร่ดินขาวที่เกิดปน อยู่ด้วยมาก **ผังรูปที่ 1** แสดงการกระจายความละเอียด หยาบของดินขาว, เฟลสปาร์และควอทซ์ จากภาพการกระจายความละเอียดหยาบของดินขาวและควอทซ์ไม่ล้ำเหลื่อมกัน ถ้าเราทำการแยกขนาดได้ที่ 40 ไมโครเมตรก็สามารถแยกดินขาวออกจากควอทซ์ได้โดยเด็ดขาด ในกรณีที่ความละเอียดหยาบของแร่ทั้งสองเหลื่อมล้ำกัน เราอาจจะต้องเพิ่มขบวนการแยกแร่ละเอียดอีกชั้นหนึ่งหรือเราอาจจะต้องจำหน่ายดินออกเป็นหลายเกรดตามแต่คุณภาพ ความละเอียดของเฟลสปาร์ ซึ่งยังเหลือปนในสายแร่ เหลือล้ำกับความละเอียดหยาบของดินขาวและควอทซ์ในกรณีเช่นนี้เราต้องแยกด้วยการล้างหลายชั้นตอน **ผังรูปที่ 2**

การล้างดินขาวของบริษัท Amberger Kaolinwerke ที่ Hirschau ตามแผนภาพ **ผังรูปที่ 3** แร่ดินจากเหมืองถูกลำเลียงโดยสายพาน ผ่านตะแกรงถี่และตะแกรงหยาบเพื่อคัดทรายและหินหยาบ จากนั้นจะถูกบ่อนลงไป Chain agitator ซึ่งกวนให้แร่ดินยุ่ยตัว ละลายน้ำเป็นอิสระจากควอทซ์และเฟลสปาร์ เฟลสปาร์เม็ดเล็กและดินขาวที่ล้นจาก Chain agitator จะไหลผ่านตะแกรงเข้าไปแยกใน Cyclone ส่วนควอทซ์และเฟลสปาร์หยาบจาก Chain agitator จะผ่านไปสู่อุปกรณ์ Log washer เพื่อล้างซ้ำให้สะอาด ดินขาวที่ยังเหลือติดมาและล้างได้จาก Log washer จะหมุนวนกลับไปยัง chain agitator อีก ควอทซ์และเฟลสปาร์เม็ดหยาบซึ่งไม่มีดินขาวเหลืออยู่จะผ่านเข้าสู่ Probability screen ซึ่งทำหน้าที่แยกแร่ออกเป็น 2 พวก พวกหนึ่งเป็นควอทซ์หยาบล้วน ๆ อีกพวกหนึ่งเป็นควอทซ์ค่อนข้างละเอียดปนกับเฟลสปาร์ สังเกตรูปที่ 3 พวกควอทซ์หยาบจะผ่านตะแกรงคัดขนาด ควอทซ์ที่ผ่านตะแกรงจะถูกส่งไปกองไว้เพื่อเตรียมการจำหน่าย ส่วนควอทซ์ที่ค้างตะแกรงจะถูกส่งเข้า Drum washer เพื่อบดและแยกเป็นเกรดต่าง ๆ หลายเกรดตามความละเอียดหยาบ ส่วนควอทซ์ค่อนข้างละเอียดซึ่งปนเฟลสปาร์จาก Probability screen จะผ่านเข้า Hydrosizer หรือ Multiple upstream classifier เพื่อแยกเฟลสปาร์ออกจากควอทซ์ แร่เฟลสปาร์ปนน้ำจะผ่านเข้า Spiral separator แล้วถูกส่งไปอบใน Drum drier เพื่อรอการส่งไปจำหน่ายหรือนำไปบดละเอียดใน feldspar mill และจำหน่ายเป็นเกรดต่าง ๆ ต่อไป ส่วนควอทซ์ที่ออกจาก Hydrosizer จะผ่าน Probability screen เพื่อแยกเป็นเกรดต่าง ๆ ตามความละเอียดหยาบของแร่จำหน่าย

น้ำดินขาวปนเฟลสปาร์ละเอียดที่ออกจาก chain agitator จะผ่านตะแกรงตักหญ้า ก่อนส่งเข้าสู่ Hydrocyclone 3 ชุด ต่อเป็นอนุกรมกัน ซึ่งเรียกว่า Refining Stage, Underflow ของ Refined Cyclone ชุดที่หนึ่งจะผ่าน Single Upstream classifier เพื่อเก็บเฟลสปาร์ที่ติดมา Overflow จาก Upstream classifier จะถูกสูบไปยัง Hydrocyclone ใน Washing Stage ซึ่งมี 3 ชุดเช่นเดียวกัน Underflow ของ Refined cyclone ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 จะไหลมารวมกันเป็น feed ของ Washing cyclone ชุดที่ 2 Underflow ของ Washing cyclone ทั้ง 3 ชุด จะเป็นเฟลสปาร์ละเอียดที่ได้จากการแยกขณะที่ Overflow ของ Refining และ Washing Cyclone ชุดที่ 3 จะเป็นน้ำดินขาวมีไมก้าปนอยู่เล็กน้อย เฟลสปาร์ละเอียดจาก Underflow ของ Washing cyclone ทั้ง 3 ชุดจะผ่านไปยัง Vacuum drum filter จากนั้นไปกองไว้เพื่อจำหน่าย หรือนำไปอบใน Drum drier เพื่อจำหน่ายแห้งหรืออบใน feldspar mill ต่อไป ไมก้าที่ติดไปกับน้ำดินจาก Hydrocyclone ถูกแยกออกโดยตะแกรงจับไมก้า น้ำดินขาวจะไหลผ่าน Ferro filter เพื่อจับสารติดแม่เหล็กและลงสู่ Thickenner มีการเติม flocculant เพื่อให้ น้ำดินจมนตัว และแยกน้ำใสออกก่อนที่จะถูกส่งเข้าเครื่องกรองแบบอัด (Filter press หรือ Hydraulic press) ดินแผ่นที่ออกจาก Filter press จะถูกส่งผ่านเข้าเครื่อง Pelletiser เพื่อรีดดินออกมาเป็นชั้นเล็ก ๆ แล้วส่งไปอบใน Apron drier แล้วส่งไปจำหน่ายหรืออบแห้งบรรจุถุงต่อไป

จะเห็นได้ว่า ดินขาวจะต้องผ่านการล้างจาก Hydrocyclone อย่างต่ำถึง 3 ชุด โดยที่ Overflow จากชุดที่ 1 จะมาเป็น feed ของชุดที่ 2 และ Overflow จากชุดที่ 2 จะไปเป็น feed ของชุดที่ 3 ตามลำดับ

การแต่งดินของ บ. Dorfner OHG ที่ Hirschau ก็มีวิธีการและเครื่องมือคล้ายคลึงกับการแต่งล้างของ บ. Amberger Kaolinwerke ต่างกันที่ว่า ที่ บ. Dorfner มีการแยกเฟลสปาร์ขนาด 70 เมช ออกจากควอทที่ปนกันอยู่ด้วยเครื่อง Electrostatic Separator และมีการลอยแร่เพื่อแยกเฟลสปาร์ขนาด 90 เมช จากควอทด้วย

ส่วนการแต่งดินขาวของ บ. Kick ที่ Schnaittenbach นั้น สายแร่ไม่มีเฟลสปาร์ปน การล้างจึงใช้วิธีเช่นเดียวกับบริษัทข้างต้นและผลิตเฉพาะดินขาวและทรายเท่านั้น

ที่น่าสนใจคือทั้งสามบริษัทผลิตทรายละเอียดต่าง ๆ ออกจำหน่าย โดยมีทรายที่มีความละเอียดและสีต่างกัน ใช้พ่นบนแผ่นยิปซัมบอร์ดและอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นผ้าหรือผนังกันต่าง ๆ ทางบริษัทกล่าวส่งว่าไปจำหน่ายยังประเทศต่าง ๆ กว่า 25 ประเทศ และเป็นที่ยอมรับมาก

เมื่อสอบถามถึงกรรมวิธีการเคลือบสี ได้รับคำตอบว่าเทคนิคถือเป็นความลับเพียงแต่ใช้วิธีการเคลือบพวกสีพลาสติก โดยนำทรายไปคลุกผสมกับสี มิได้ใช้วิธีย้อม นับว่าการนำทรายละเอียดที่ได้จากการล้างดินขาว มาทำเป็นทรายสีเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในกิจการตบแต่งภายใน เป็นความพยายามอีกก้าวหนึ่งของโรงล้างดินขาวในย่านนี้

สำหรับมูลทรายเม็ดหยาบจากการล้างดิน บริษัทได้ทำเป็นภูเขาสูง และมีการพัฒนาทรายนี้เป็นที่เล่นสกีในฤดูร้อนโดยบริเวณข้างเคียงจัดเป็นที่พักผ่อนตากอากาศด้วย

## 5. ปริมาณการผลิตและผลวิเคราะห์

บริเวณ Hirschau และ Schnaittenbach มีบริษัทต่าง ๆ ทำเหมืองดินอยู่ 3 บริษัท โดยเป็นแบบ Open pit สายแร่ดินขาวประกอบด้วยแร่ต่าง ๆ ดังนี้

ควอท	76-80%	ดินขาว	10-20%
เฟลสปาร์	0-12%	ไมก้า	1-2%

ปริมาณการผลิตของบริษัทต่าง ๆ ในปี 1973 มีในตารางที่ 1 ดังนี้

### ตารางที่ 1 (เป็นเมตริกตัน)

	Amberker Kaolinwerke Hirschau	Dorfner OHG Hirschau	E. KICK Schnaittenbach
แร่บ่อน	1,000,000	590,000	600,000
ดินขาว	100,000	102,000	110,000
เฟลสปาร์	120,000	15,000	—
ทรายควอท	350,000	246,000	350,000
ผงควอท	10,000	72,000	28,000

ทรายควอทและ QUARTZ powder ซึ่งผ่านการแต่งและมีปริมาณซิลิกามากกว่า 99% ใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว, เซรามิกส์, เคมี, โรงหล่อ, อุตสาหกรรมสิ่งก่อสร้าง และเครื่องกรอง

เฟลสปาร์ที่แต่งแล้วมีแร่ 70-90% ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์, โลหะเคลือบ, แก้วและฟิลเลอร์

ดินขาวซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่สุดของเหมือง ผ่านกรรมวิธีการผลิต และการแต่งออกมาเป็นชนิดต่าง ๆ มากมาย ผลิตภัณฑ์ดินขาวจากบริเวณนี้เป็นที่รู้จักกันดีในการนำไปทำเป็นฟิลเลอร์ในกระดาษ, ยาง, พลาสติก, ยางฆ่าแมลง ฯลฯ และอุตสาหกรรมทำเส้นใยแก้ว, ซีเมนต์ขาว และ เซรามิกส์

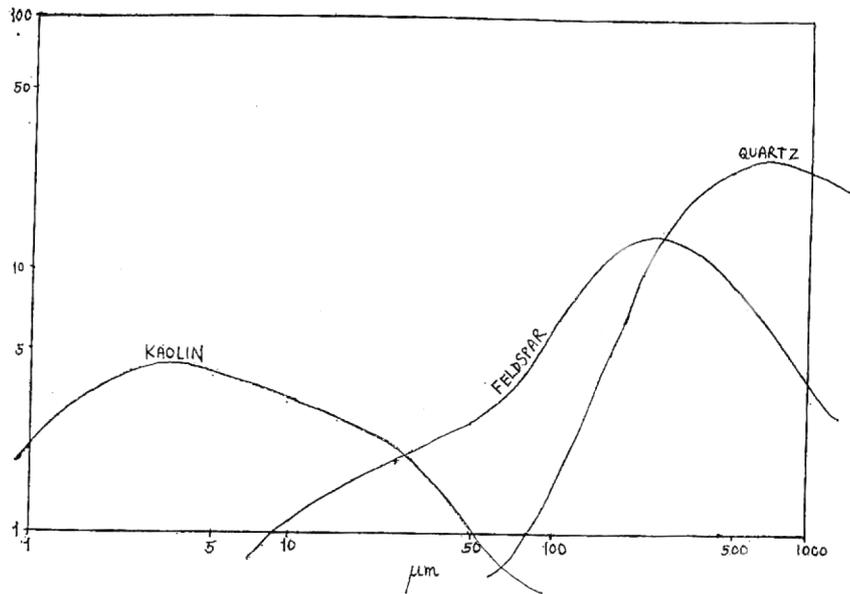
ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบทางเคมีและแร่ของดินแหล่งนี้

ตารางที่ 2

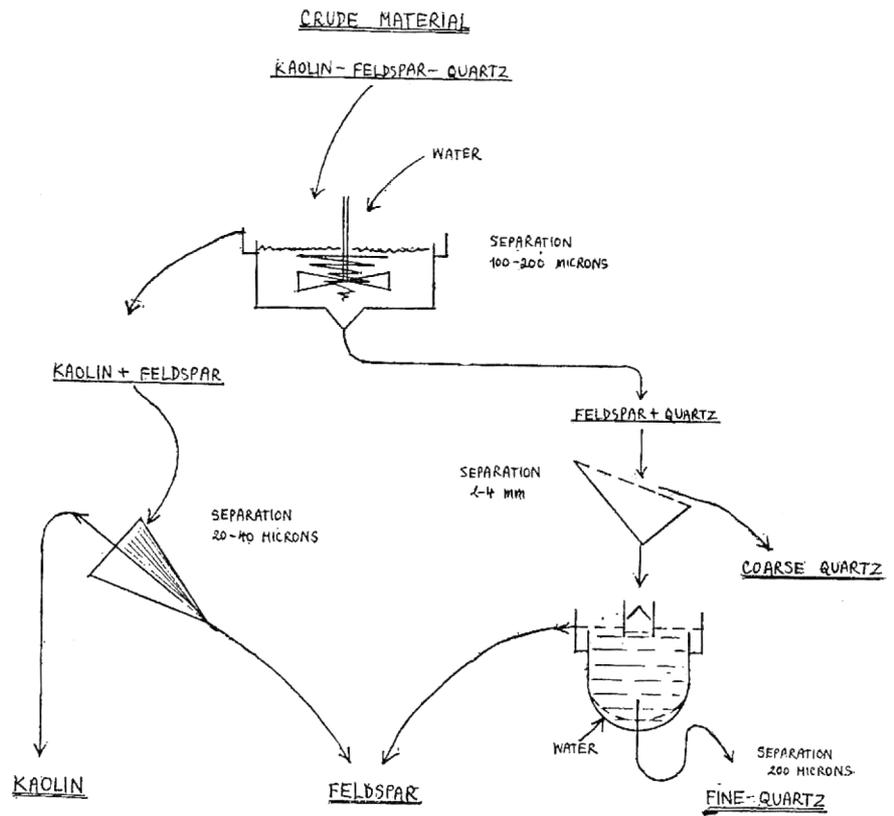
	ผลวิเคราะห์ทางเคมี%	ส่วนประกอบของแร่	%
SiO <sub>2</sub>	46.4–48.9	เคโอลิไนท์	80–90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36.1–38.7	เซริไซต์, อิลไลท์	4–11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3–0.5	เฟลสปาร์	1–6
TiO <sub>2</sub>	0.3–0.4	ควอท	2–6
CaO	–0.1	อื่น ๆ	Traces
MgO	–0.03		
K <sub>2</sub> O	0.5–1.8		
Na <sub>2</sub> O	0.08–0.2		
H <sub>2</sub> O etc.	12.0–13.1		

## 6. สรุป

โรงแต่งแร่ดินขาวทั้ง 3 โรงงานในบริเวณ Hirschau และ Schnaittenbach ดำเนินการเหมืองดินขาวด้วยวิธี open pit โดยมี Overburden ลึกประมาณ 75–100 ฟุต สายแร่เป็นทั้งแบบชนิดเกิดอยู่กับที่ และแบบทุติยภูมิปนกัน การแต่งดินขาวใช้วิธีการกวนให้น้ำดินแยกจากแร่ควอทและหินพื้นมาแล้ว แยกด้วยการคัดขนาดด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน ซึ่งมีอยู่หลายชุด ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีดินขาว หินพื้นม้า และทรายแก้ว แกรดต่าง ๆ กัน รวมทั้งทรายเคลือบสีเพื่อทำเป็นวัสดุก่อสร้าง โรงแต่งดินทั้งสามในบริเวณนี้สามารถผลิตดินขาวรวมกันได้ประมาณปีละสามแสนห้าหมื่นตัน และหินพื้นม้าประมาณปีละหนึ่งแสนห้าหมื่นตัน จำหน่ายในประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันเองรวมทั้งภาคพื้นยุโรปด้วย



รูปที่ 1 มอกระจายขนาดอนุภาคของดินเหนียว, เฟลด์สปาร์ และ ควอตซ์



รูปที่ 2 การแยกดินเหนียว, เฟลด์สปาร์ และควอตซ์ ได้ด้วยวิธี SELECTIVE CLASSIFICATION

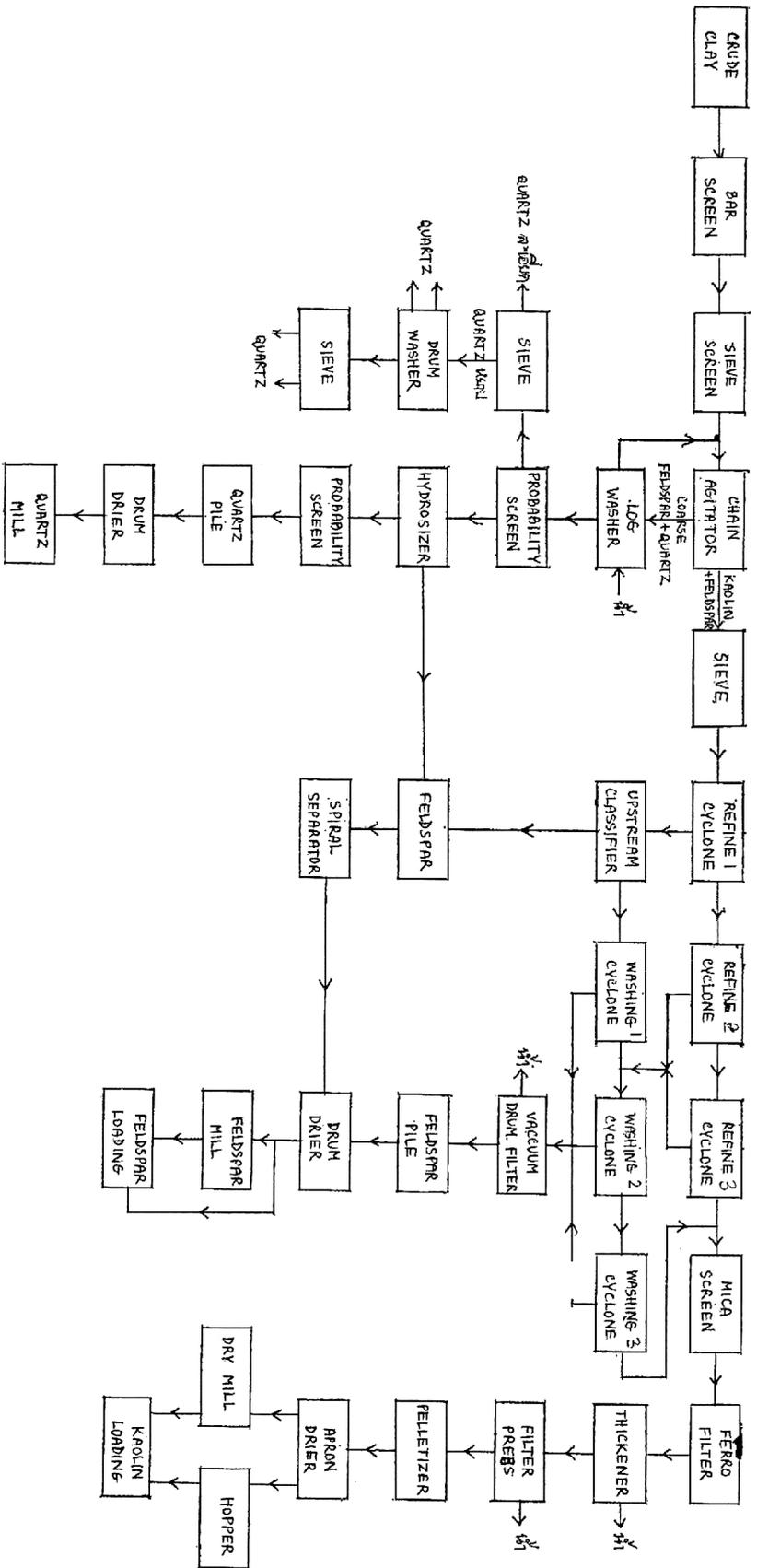


Abbildung 3: Darstellung des Herstellungsprozesses von feinstem feuerfestem Kaolinwerkzeug nach Hirschmann