

ศักยภาพแหล่งทรายก่อสร้างในพื้นที่จังหวัดสงขลา

ดนุพล ตันนโยภาส¹ สมชัย ชัยเสน² และ กัลยาณี คุปตานนท์³

Abstract

Tonnayopas, D., Chaisen, S. and Kooptarnond, K.

Potential building sand deposits in Songkhla province area

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2002, 24(4) : 675-700

An investigation of potential building sand deposits in Songkhla province area subdivided them into four regions according to their accumulation in various alluvial plains, meanders throughout alluvial deposits and residual soils. Four selected deposits, were Rattaphum-Khuan Niang, U-Taphao river, Na Mom, and Chana-Thepha regions. Information obtained from these deposits revealed a good correlation between the geomorphological features as interpreted from aerial photographs and those identified from vertical electrical resistivity sounding results. Sand samples were analysed for their physical and chemical properties. Petrographic studies were also undertaken to characterize the composition types,

Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand.

¹ Ph.D. (Applied Geology) รองศาสตราจารย์ ² วศ.ม. (วิศวกรรมเหมืองแร่) ³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail : tdanupon@ratree.psu.ac.th

รับต้นฉบับ 16 พฤษภาคม 2544

รับลงพิมพ์ 11 กรกฎาคม 2545

texture and shapes. An overview of the sand properties was used them to be within the acceptable limits for building sand. However, relatively high organic impurities and soundness were found in sand from Khuan Niang and Na Mom deposits. The result indicated a potential reconnaissance mineral resource of about 46 square kilometres.

A reserve evaluation for natural building sand was carried out by using Geographic Information System (GIS). Maps of the various parameters considered were constructed in digital database format with the aid of Arc/Info and ArcView software. Overlay mapping and buffer zone modules were performed to evaluate inferred resources of building sand. The key parameters of analysis included the distance from transportation, distance from streams, lithology and thickness of sand layers. The remaining inferred sand total was of about 386 million cubic metres or about 1,021 million metric tons was therefore estimated, of which 60 percent lies in the Rattaphum-Khuan Niang region and 40 percent in the other regions.

Key words : Engineering geology, sand deposit, Songkhla, GIS, geoelectric, buffer zone, overlay mapping

บทคัดย่อ

دنۇفل دىننۇيولاس سىمىيى چىيىسەن ۋە گىللىيى قۇپداننۇت

كىيىi

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2545 24(4) : 675-700

การสำรวจศักยภาพแหล่งทรายก่อสร้างในพื้นที่จังหวัดสงขลา แบ่งได้เป็นสี่เขตตามลักษณะการสะสมตัวหลากหลายในที่ราบตะกอนน้ำพา ทางน้ำโค้งตัวจนถึงแหล่งสะสมตะกอนน้ำพา และดินตกค้าง พื้นที่แหล่งทรายทั้งสี่ที่ได้เลือกไว้ เรียกว่า เขตตรังภูมิ-ควนเนียง เขตคลองคูเต่า เขตนาหม่อม และเขตจะนะ-เทพา นอกจากนี้สารสนเทศของภาพลักษณ์ทางธรณีวิทยาฐานที่แปลจากรูปถ่ายทางอากาศและรูปพรรณสัณฐานจากการหยั่งด้วยความต้านทานไฟฟ้าแนวตั้งได้แสดงถึงสหสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างทราย ทางซิลิการณาก็ได้ตรวจถึงลักษณะรูปร่าง ผิวเนื้อ และ ส่วนประกอบแร่ โดยภาพรวมสมบัติของทรายอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับทรายก่อสร้าง แม้ว่ามีปริมาณสารอินทรีย์เจือปนและค่าคงตัวที่พบในกลุ่มตัวอย่างจากแหล่งควนเนียงและนาหม่อมมีค่าค่อนข้างสูงเกินความเหมาะสม ผลการศึกษาระบุว่าพื้นที่ศักยภาพปริมาณสำรองของทรายสำรวจเบื้องต้นมีอยู่ประมาณ 46 ตร.กม.

การประเมินปริมาณสำรองแหล่งทรายก่อสร้างธรรมชาติด้วยการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้พิจารณาแผนที่หลายชนิดที่มีปัจจัยต่างกัน นำมาสร้างขึ้นในฐานข้อมูลเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม Arc/Info และ ArcView ด้วยชุดคำสั่งย่อยการทำแผนภาพเชิงซ้อนและเขตกันชน ได้ประเมินถึงปริมาณสำรองอนุมาณของทรายก่อสร้าง ปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม ระยะห่างจากทางน้ำ วิทยาหินและความหนาของแหล่งทราย อย่างไรก็ตามทรายที่อนุมาณไว้ทั้งหมดได้ประเมินคงเหลือประมาณ 386 ล้านลบ.เมตร หรือประมาณ 1,021 ล้านเมตริกตัน ซึ่ง 60% อยู่ในเขตตรังภูมิ-ควนเนียง และ 40% อยู่ในเขตที่เหลือ

จากประมาณการการใช้ทรายคิดมาจากอัตราส่วนการใช้ปูนซีเมนต์ของประเทศไทยในอดีต (กรมทรัพยากรธรณี 2538) พยากรณ์ว่าในช่วงปี พ.ศ. 2543-2546 มีความต้องการทรายเพิ่มขึ้นถึง 26.11% หรือเฉลี่ยอัตรา

8%/ปี คิดเป็นน้ำหนักได้ประมาณ 60 ล้านตัน หรือประมาณ 23 ล้านลบ.เมตร ซึ่งยังไม่รวมถึงทรายที่นำไปถม แต่เมื่อเกิดวิกฤติการณ์ทางด้านเศรษฐกิจเป็นต้นมา ปริมาณการก่อสร้างลดลงเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้อุปสงค์

ทรายในเวลาต่อมลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามคาด
การณ์ว่าเมื่อสถานการณ์ทางเศรษฐกิจฟื้นตัวขึ้น ปริมาณ
ความต้องการใช้ทรายก็จะคืนสู่เท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้น

จังหวัดสงขลา เป็นศูนย์กลางทางด้านเศรษฐกิจที่
สำคัญแห่งหนึ่งในภาคใต้ตอนล่าง โดยเฉพาะพื้นที่อำเภอ
หาดใหญ่ที่เป็นศูนย์กลางทางการพาณิชย์และการท่องเที่ยว
ที่สำคัญ มีอุปสงค์ทรัพยากรทรายธรรมชาติในการ
ก่อสร้างสาธารณูปการมากขึ้นทุกปี ซึ่งในพื้นที่อื่นมีหลาย
หน่วยงานได้ดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลทรายอย่างเป็น
ระบบ (ชิมชัยและรัศมี 2537; รังสีและโชติ 2540;
อำไพ 2541) แต่สำหรับข้อมูลแหล่งทรายก่อสร้างในสงขลา
(สมชัย, 2540) ยังขาดแคลน กระจัดกระจาย และจัดเก็บ
ไม่เป็นระบบ จึงได้มีการศึกษาวิธีค้นหาอย่างเป็นระบบ
นับตั้งแต่กลยุทธ์ค้นหา การสำรวจ การประเมิน ไปจนถึง
ขั้นตอน แยกทรายก่อสร้าง (building sand) โดยเน้น
ด้านธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการกำเนิดและลักษณะการ
สะสมตัว ปริมาณสำรองและพื้นที่แหล่งใหม่ ซึ่งต้องอาศัย
เทคนิคหลายด้านบูรณาการเป็นสหวิทยาการ (multidis-
ciplinary) ได้แก่ การรับรู้จากระยะไกล (remote sens-
ing) การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ การสำรวจทางธรณี
หลักฐานวิทยาและธรณีวิทยาในภาคสนาม และ การ
วิเคราะห์คุณภาพ (กายภาพและทางเคมี) ของทราย เป็นต้น
โดยมีจุดมุ่งหมายจัดแบ่งชนิดหรือกลุ่มของทรายตามความ
เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรม
ก่อสร้างสูงสุด อันนำไปสู่การติดตั้งแผนที่ความคิด ในการ
วางแผนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติทรายอย่างยั่งยืน
ในอนาคตและหาแนวทางจำกัดเขตพื้นที่ประกอบการให้มี
ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยวิเคราะห์
ภูมิสารสนเทศที่กล่าวมา ด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศ
ภูมิศาสตร์ของ Arc/Info และ ArcView

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์หลักที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำเนินงาน
วิจัยครั้งนี้ประกอบไปด้วยดังนี้

1. รูปถ่ายทางอากาศ ขาวดำ มาตราส่วนประมาณ
1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ที่ถ่ายใช้ในโครงการ
สำรวจการใช้ที่ดิน คลุมพื้นที่แอ่งสะสมตัวของทรายศึกษา
ทั้งหมด (Table 1)

2. กล้องมองภาพสามมิติแบบกระจก (mirror
stereoscope) พร้อมด้วยอุปกรณ์เสริม

3. แผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร มาตรา
ส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7017 จำนวน 4 ระวัง คือ
ระวัง 5023 II (อ.รัตภูมิ) 5022 I (อ.หาดใหญ่) 5122 I
(อ.เทพา) และ 5122 IV (อ.จะนะ) (Figure 1)

4. แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1:
250,000 ระวัง NB 47-8, 5 (จ.นราธิวาส และ อ.ตากใบ)
ระวัง 47-3 (จ.สงขลา) และระวัง NB47-7 (จ.สตูล) ของ
กรมทรัพยากรธรณี (2528) และสำเนาชุดแผนที่ธรณีวิทยา
ไม่พิมพ์เผยแพร่ มาตราส่วน 1:50,000 ได้แก่ ระวัง 5122
IV อ.จะนะ (สมชายและสมชัย 2529) และระวัง 5122 I
อ.เทพา (สมชายและคณะ 2531)

5. อุปกรณ์สำรวจทางธรณีและเก็บตัวอย่าง ได้แก่
เข็มทิศและหมอนธรณีวิทยา พลั่ว ถูพลาสติกหนา และ
ยางรัด พร้อมด้วยแผ่นกระดาษบันทึกข้อมูลระบุตัวอย่าง

6. เครื่องวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าหือ OYO
รุ่น McOHM Mark-2 Model-2115A พร้อมชุด
อุปกรณ์เสริม และคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมสำเร็จรูปที่
ใช้แปลความชื่อ Resist version 1.0

7. อุปกรณ์หาพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (Global

Table 1. The characteristics of the studied aerial photograph

Location	Run path	Number of photograph	Date of acquisition
Rattaphum-Khuan Niang	16 A	159-175	31 March 1995
	15 B	22-52	7 April 1995
U-Taphao	17 A	16-18	7 April 1995
Na Mom	19	212-216	11 April 1995
Chana-Thepha	22	90-102	9 April 1995

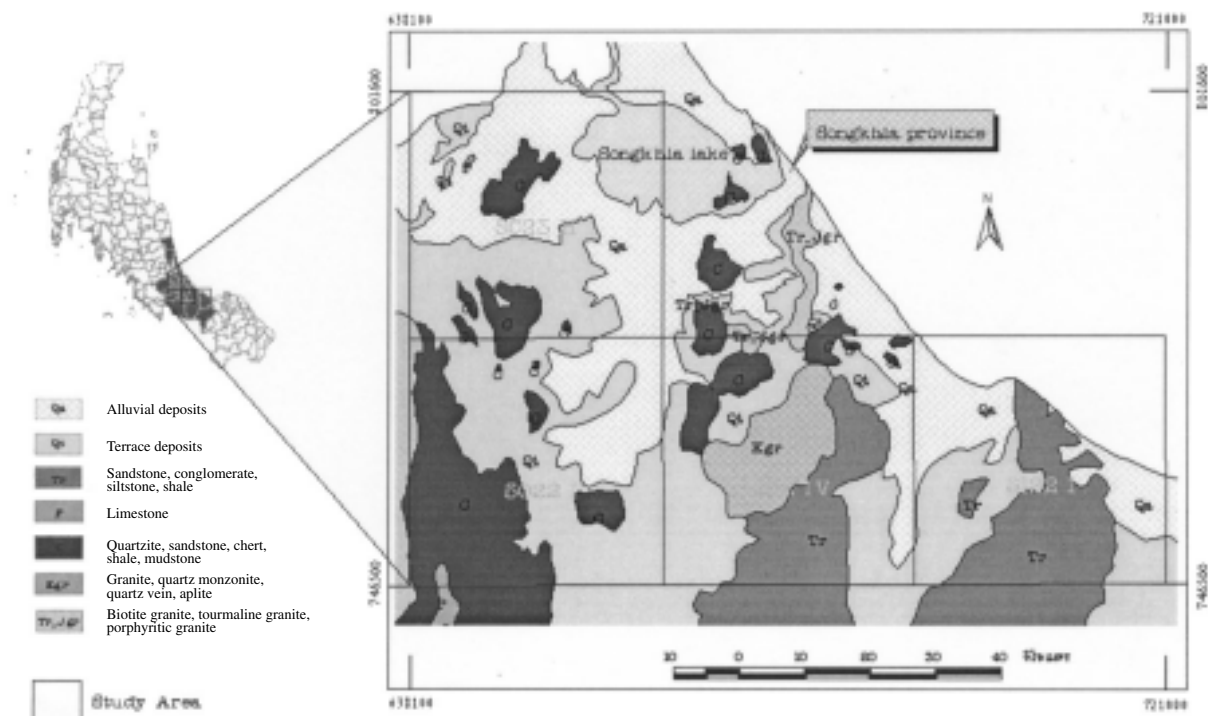


Figure 1. General geological map of study area

Positioning System- GPS) ยี่ห้อ Trimble Pathfinder รุ่น TDC1 พร้อมโปรแกรม Pathfinder Office version 1.10

8. กล้องขยายและกล้องจุลทรรศน์ ที่มีกำลังขยายต่างกัน พร้อมอุปกรณ์บันทึกภาพ

9. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หน่วยความจำชั่วคราว 128 MB หน่วยความจำถาวร 40 GB

10. อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล เช่น เครื่องกวาดภาพ (scanner) เครื่องอ่านฟลิค (digitizer)

11. อุปกรณ์แสดงผล จอภาพ 20 นิ้ว เครื่องพิมพ์ และเครื่องวาดภาพ

12. โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประมวลผล ได้แก่ Arc/Info รุ่น 3.5.2 และ ArcView รุ่น 3.1 โปรแกรม Pathfinder Community Base Station รุ่น 2.68I และ Pathfinder Office รุ่น 1.10 รวมทั้งโปรแกรมสนับสนุนการสร้างชั้นความหนา Surfer รุ่น 6.03

2. วิธีการ

การสำรวจศักยภาพแหล่งทรายจังหวัดสงขลา ดำเนินการครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอรัตภูมิ วนเนียง บางกล่ำ หาดใหญ่ นาหม่อม คลองหอยโข่ง นาทวี เทพา และ สะเดา พื้นที่รวมกันทุกระวางประมาณ 3,054 ตร.กม. (Figure 1)

ด้วยขนาดพื้นที่สำรวจค่อนข้างกว้าง กอปรกับต้องการสำรวจคุณภาพและปริมาณทรายนำไปใช้ในทางก่อสร้าง ฉะนั้นเพื่อให้ได้สารสนเทศที่ต้องการ จึงได้เลือกวิธีการสำรวจทางธรณีวิศวกรรม (engineering geological investigation) อันเป็นการผสมผสานความรู้ทั้งด้าน ธรณีวิทยาและวิศวกรรมโยธา (دنۇفل 2542) โดยใช้ อุปกรณ์และเทคนิคสำรวจทางอากาศ บนพื้นดินและใต้ดิน เพื่อได้นำสารสนเทศดังกล่าวมาบูรณาการเกิดผลที่ถูกต้อง และทรงประสิทธิภาพสูงสุด ดังมีรายละเอียดวิธีการต่อไปนี้

2.1 การแปลธรณีวิทยาภาพถ่าย (photogeology - interpretation)

จากภาพลักษณะต่างๆ ที่ปรากฏบนรูปถ่ายอันเป็นเบื้องต้นในการแปลรูปถ่าย (دنفلและคณะ 2540) และได้ยึดถือแนวปฏิบัติแปลความสำรวจดิน (Campbell, 1978) เป็นเกณฑ์ในการค้นหาแหล่งทรายครั้งนี้ โดยแปลผ่านกล้องมองภาพสามมิติแบบกระจกชนิดประจำสำนักงานทำการคัดลอกข้อมูลใน GIS

2.2 การสำรวจด้านธรณีสัณฐานวิทยาและธรณีวิทยา

สำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบข้อมูล หาลักษณะเพิ่มเติม และปรับปรุงแก้ไขงานแปลรูปถ่ายทางอากาศ และข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยาเดิม พร้อมทั้งวัดโครงสร้างธรณีวิทยาของหินต้นกำเนิดทรายและวางแผนกำหนดจุดสำรวจด้านธรณีไฟฟ้า เก็บตัวอย่างและป่อทรายทั้งที่ยังทำอยู่และป่อร้างจากเครื่องกำหนดพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS)

2.3 การสำรวจด้านธรณีไฟฟ้า (geoelectric prospecting)

สำรวจในพื้นที่แหล่งทรายที่สามารถเข้าถึง และหลายจุดใกล้ป่อทรายที่ประกอบการอยู่ในปัจจุบันและที่ปล่อยทิ้งร้างไว้ เพื่อเปรียบเทียบผลการแปลชั้นความลึกกับสภาพชั้นทรายจริง ด้วยวิธีโครงแบบชลัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger configuration) วัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏ (apparent resistivity) ของพื้นดินในแนวตั้ง (vertical electrical sounding-VES) ขยายระยะห่างของขั้วไฟฟ้าไกลสุดข้างละ 100 เมตร มีสถานีวัดทั้งหมด 47 จุด การแปลความลึกนั้น ได้นำเส้นโค้ง VES ที่ลงจุดความต้านทานจำเพาะกับระยะห่างขั้วไฟฟ้าในกราฟล็อกมาแปลความด้วยวิธีการจับคู่เส้นโค้งบางส่วน (partial curve matching method) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปชื่อ Resist version 1.0 ให้คำนวณจนเส้นโค้งคำนวณเข้าใกล้เส้นโค้งที่วัดจากภาคสนามมากที่สุด โดยพยายามให้มีค่าผิดพลาดรากยกกำลังสองเฉลี่ย (root mean square-RMS) ต่ำที่สุดเท่าที่เข้าคู่ได้ และในการแปลความลึกของแหล่งทรายครั้งนี้ ได้ยึดถือว่าเส้นโค้งที่ความชันผิดแผกไปจากเดิมมาก ระบุถึงจุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของชนิดชั้นตะกอน

2.4 การตรวจสอบสมบัติทรายและจำแนกทางวิศวกรรม

ตัวอย่างทรายที่เก็บมาในลักษณะเสียสภาพ (disturbed sample) และได้คัดขนาดก้อนหินมนใหญ่ (boulder) ถึงกรวดเล็ก (granule) ออก เนื่องจากมีปริมาณไม่มากถึงขั้นเป็นตัวแทนกลุ่ม ตัวอย่างเก็บมาทั้งหมด 18 แห่ง แห่งละ 2 ถุง แต่ละถุงหนัก 20-30 กก. นำมาตรวจสอบทางกายภาพและผลที่ได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานอเมริกัน (The American Standards of Testing Materials-ASTM) เป็นหลัก

การลดปริมาณตัวอย่างจากสนามให้เป็นตัวอย่างทดสอบ (ASTM C 702) ได้ใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง (riffle sample splitter) โดยมุ่งตรวจสอบหลักของมวลรวมทรายที่ใช้งาน อันได้แก่ การคละขนาด (gradation) ของมวลรวม (ASTM C 136) ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ (ASTM C 128) ปริมาณสารอินทรีย์ที่เจือปน (organic matter) (ASTM C 40) เทียบกับแผ่นแก้วสีมาตรฐาน (organic plate) ทดสอบการคงตัว (soundness) โดยใช้สารโซเดียมซัลเฟต (ASTM C 88) ตลอดจนตรวจลักษณะทางกายภาพของเม็ดทรายภายใต้กล้องขยาย เช่น ผิวเนื้อ รูปร่าง (ASTM C 33) วัสดุองค์ประกอบทั้งแร่และเศษหิน (ASTM C 295) การจำแนกประเภทได้ยึดตามระบบการจำแนกดินเอกภาพ (unified soil classification-USC) และระบบกรมทางหลวงอเมริกา (ASSHTO)

2.5 การวิเคราะห์ทรายทางเคมี

วิเคราะห์ปริมาณส่วนประกอบออกไซด์ของซิลิกา (SiO_2) ในทราย (ASTM C 146) เพื่อคำนึงถึงคุณภาพของทรายว่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมประเภทใดมากที่สุด โดยยึดถือปริมาณซิลิกาที่น้อยกว่า 98.5% เป็นเกณฑ์ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง เนื่องจากสภาพแวดล้อมธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ไม่พบแร่เป็นต้นกำเนิดให้เกลือ ที่อาจก่อให้เกิดปริมาณเกลือและคลอไรด์ละลาย (ASTM C 1218) ปนเปื้อนอยู่ในทรายถึงขั้นมีผลต่อวัสดุก่อสร้าง จึงไม่ได้ทำการตรวจวิเคราะห์

2.6 วิเคราะห์ภูมิสารสนเทศ (Geo-Information Analysis)

จากข้อมูลการสำรวจศักยภาพแหล่งทรายจังหวัดสงขลา เป็นการนำเข้าข้อมูลศักยภาพแหล่งทราย ใน

ลักษณะจุด (point) เส้น (arc) และพื้นที่ (polygon) ทุกชนิดแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข เข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Arc/Info (Figure 2) โดยผ่านอุปกรณ์กวาดภาพและเครื่องกำหนดพิกัด และถ่ายโอนลงบนแผนที่ชนิดต่างๆ ของพื้นที่สงขลา พร้อมด้วยการกระจายของหินต้นกำเนิดที่เป็นไปได้ อาทิเช่น หินแกรนิต หินทราย ที่ได้แก้ไขมาจากแผนที่ธรณีวิทยาระวางและมาตราส่วนต่างๆ สร้างและลงจุดพิกัดฐานข้อมูลใช้งานและภูมิสารสนเทศแหล่งทราย ได้แก่ เหมืองทรายทั้งเล็กกิจการและทำอยู่ในปัจจุบัน จุดเก็บตัวอย่าง จุดสำรวจความต้านทานไฟฟ้าลงบนแผนที่ชั้นข้อมูลต่างๆ ดำเนินการประมวลผลพื้นที่แหล่งทราย ด้วยวิธีเชิงซ้อน (overlay) จัดแบ่งออกเป็นหมวดเชื่อมพื้นที่ (spatial join) เขตพื้นที่กันชน (buffer zone) การแยกภาพลักษณะ (feature extraction) การผนึกภาพลักษณะ (feature merging) (ESRI, 1998) เมื่อนำข้อมูลถ่ายโอนมายังโปรแกรม ArcView ไปพิจารณาพร้อมกับผลข้อมูลสำรวจความต้านทานไฟฟ้าทุกจุดที่ได้ประมวลผลความลึกของตะกอนแต่ละชั้น และหาความ

หนาชั้นทรายที่ระดับลึกไม่เกิน 50 เมตร นำเข้าประมวลในโปรแกรม Surfer สร้างชั้นความหนา (thickness of contour line) ด้วยการปรับระดับความหนาล่างสุดให้เริ่มศูนย์ กำหนดช่วงเส้นชั้นความหนาให้เหมาะสมกับความหนาของแหล่ง ก็จะได้แผนที่ชั้นความหนา (isopach map) ดังเช่น แหล่งทรายเขตรัตภูมิ-ควนเนียง และ เขตจะนะ-นาทวี สำหรับกรณีจุดสำรวจไม่กระจายครอบคลุมพื้นที่ก็ใช้ค่าความหนาเฉลี่ยของแหล่งทราย โดยพิจารณาจากความหนาที่แปลความได้จากจุดสำรวจความต้านทานไฟฟ้าทั้งหมดในแต่ละแหล่งนั้น นำมาคำนวณค่าเฉลี่ย ได้แก่ เขตอยู่ตะเภา และ นาหม่อม ดังนั้นการประเมินปริมาณสำรองศักยภาพแหล่งทรายที่อนุมาณก็ได้ดังนี้

ปริมาตรแหล่งทรายทั้งหมด = พื้นที่แหล่งทรายทั้งหมด $\times$ ความหนาเฉลี่ยของชั้นทราย

ปริมาตรทรายในพื้นที่กันชน = พื้นที่กันชน $\times$ ความหนาเฉลี่ยของชั้นทราย

ปริมาณสำรองศักยภาพแหล่งทราย = ปริมาตรแหล่งทรายทั้งหมด - ปริมาตรทรายในพื้นที่กันชน

2.6.1 ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ (Geo-information database)

ประกอบด้วยข้อมูลสองชนิดคือ ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ขอบเขตพื้นที่แหล่งทราย ได้จากการแปลรูปถ่ายทางอากาศ ตำแหน่งบ่อทรายทั้งที่เล็กกิจการและ/หรือประกอบการอยู่ตำแหน่งจุดสำรวจความต้านทานไฟฟ้าและเก็บตัวอย่าง ส่วนอีกชนิด คือ ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ แผนที่ภูมิประเทศครอบคลุมแหล่งทราย จัดแยกออกเป็นชั้นข้อมูลความสูง เส้นทางคมนาคม ทางน้ำ ขอบเขตชั้นลุ่มน้ำของกรมป่าไม้ ขอบเขตการปกครอง ที่ตั้งสาธารณะ (มัสยิด วัด สถานที่ราชการ) และขอบเขตชุดหินตามยุคจากแผนที่ธรณีวิทยา โดยข้อมูลดังกล่าวจัดทำอยู่ในแบบแผนที่เชิงตัวเลขของชั้นข้อมูล/ชั้นข้อมูลสืบขาว (layers/coverages) ที่ได้แยกเก็บไว้ในแต่ละประเภทแฟ้มข้อมูล (Figure 2)

2.6.2 การสร้างเขตกันชน (Buffer zone)

ปัจจัยที่พิจารณาสร้างเขตกันชนในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ แหล่งน้ำสาธารณะ เส้นทางคมนาคม และพื้นที่สาธารณะชุมชนท้องถิ่น โดยยึดตามหลักเกณฑ์พระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2510 แก้ไขปรับปรุง พ.ศ. 2537

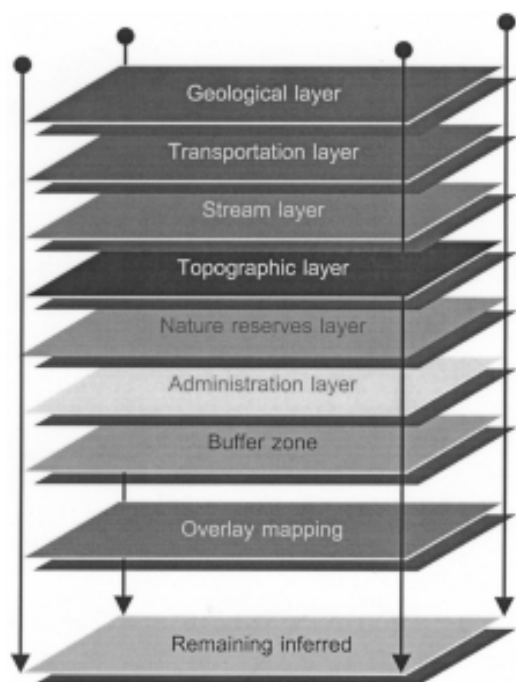


Figure 2. Flow chart of GIS processing data for potential sand deposit areas

เป็นหลัก (Table 6) แต่ผลสำรวจแหล่งทรายทุกแหล่งอยู่นอกเขตชุมชน จึงไม่นำมาพิจารณาและนำไปกำหนดค่าลงในคำสั่งการสร้างเขตกันชนในโปรแกรม Arc/Info

2.6.3 การทำแผนภาพเชิงซ้อน (Overlay mapping)

จากขอบเขตของพื้นที่แหล่งทรายแต่ละแห่ง ได้สร้างเขตกันชนของแต่ละองค์ประกอบชั้นไว้ในชั้นข้อมูลเขตกันชนจนครบทุกปัจจัยก่อน จึงนำไปรวมกับชั้นข้อมูลเขตกันชนตัวอื่นจนครบ (union) และตัดขอบ (clip) พื้นที่ประกอบด้วยเขตกันชนทุกปัจจัยไปถ่ายลงในชั้นข้อมูลแผนที่เขตการปกครอง ผ่านคำสั่งสอบถาม (query) ในโปรแกรม ArcView จะได้พื้นที่ศักยภาพแหล่งทรายอนุมาณ

2.6.4 ปริมาณสำรอง

การแผ่ขยายของพื้นที่แหล่งทรายทั้งสิ้นเขตนั้น ล้วนได้เก็บตัวอย่างตรวจสอบและจุดสำรวจต่างๆ ได้มาจากแผนที่ธรณีวิทยา รูปถ่ายทางอากาศขาวดำ และสังเกตการณ์ภาคสนาม (دنفلและคณะ 2544) ส่วนความหนาทรายก่อสร้างเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ย่อย ได้รับมาจากการเฉลี่ยค่าความหนาที่วัดในทรายโผล่และในบ่อทราย และพิจารณาร่วมกับผลแปลความหนาจากการสำรวจทางธรณีไฟฟ้า (Table 2) ความหนาที่นำมาพิจารณาคำนวณในแต่ละพื้นที่ย่อยแหล่งทรายจะไม่นำค่าความหนาหน้าดินมารวมด้วย เช่นเดียวกันชั้นทรายที่บางแหล่งความหนา

ไม่คุ้มในแง่เศรษฐศาสตร์ (< 2.0 เมตร) และหากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ (facies changes) ในลักษณะการคัดขนาดทรายธารน้ำพา (fluvial sand grading) ไปสู่ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว ก็ไม่พิจารณาเช่นกัน

สำหรับข้อมูลความหนากระจายเพียงพอ ได้สร้างแผนที่ชั้นความหนาของทราย และคำนวณตามวิธีนิยม มีสูตรคำนวณดังนี้

$$V = (A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{n-1} + A_n) \times (L/2) \quad (1)$$

โดยที่ V = ปริมาตร หน่วยเป็น ลบ.เมตร

A_n = พื้นที่หน้าตัดของระนาบเส้นชั้นความหนาที่ระดับ n หน่วยเป็น ตร.เมตร

L = ค่าความต่างของระนาบแต่ละชั้นความหนา หน่วยเป็น เมตร

ปริมาณสำรองคิดเป็นปริมาตรหน่วยลบ.เมตร และน้ำหนักเป็นล้านเมตริกตัน ซึ่งความถ่วงจำเพาะของแหล่งทรายทุกแหล่งค่อนข้างคงตัว อยู่ราว 2.64-2.65 (Table 4)

ผลการศึกษา

ศักยภาพแหล่งทรายก่อสร้างในสงขลาสะสมอยู่ในลักษณะธรณีสัณฐานหลากหลาย อันเป็นผลมาจากการ

Table 2. Summary of potential building sand deposits in Songkhla province area

Feature of deposits	Rattaphum-Khuan Niang	U-Taphao	Na Mom	Chana-Thepha
Aerial appearance	light gray, fine texture	variable gray tones, smooth	light to medium gray	white to light gray, mottled
Drainage pattern	dendritic	dendritic and parallel	dendritic	dendritic
Stream stage	maturity to old	old	youth to maturity	youth
Topography	hilly with granite knob	flood plain, oxbow lake	valley and hill	irregular hill and ridges
Area, km ² .	21.02	8.42	2.78	13.86
Grain shape	angular to subrounded	well rounded	angular to round	very angular to subrounded
Source rocks	granite, sandstone	sandstone-shale	granite	granite, sandstone-shale

กระทำของตัวกลาง ซึ่งเป็นธารน้ำเป็นหลัก และคุณภาพทรายก็ขึ้นกับหินต้นกำเนิด ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วย หินทราย หินดินดานและหินแกรนิต มีรายละเอียดดังนี้

1. การแปลภาพธรณีวิทยา

การกระจายของแหล่งทรายในบริเวณพื้นที่ต่างๆ ของจังหวัดสงขลา (Figure 3-6) ได้ล้อมกรอบเน้นสำรวจเฉพาะแหล่งทรายน้ำจืด (fresh water sand deposits) หรือทรายบก ไม่รวมถึงแหล่งทรายภาคพื้นสมุทร (marine sand deposits) ซึ่งต้องผ่านการล้างและไม่นิยมนำมาใช้ก่อสร้าง อีกทั้งส่วนใหญ่อยู่ตามชายฝั่งในเขตหวงห้ามตามกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย ลักษณะโดดเด่นของแต่ละแหล่งทราย ซึ่งแปลความได้สรุปไว้ใน Table 2

ผลแปลภาพธรณีวิทยาของแหล่งทรายในเขตรัตภูมิ และควนเนียง พบว่ามีลักษณะเนื้อภาพละเอียด-ปานกลาง วรรณะสี (tone) บริเวณที่ราบและริมทางน้ำสีเทาอ่อน ส่วนบริเวณลานตะพักลำน้ำสีเข้มและลักษณะยอดขรุขระ และเรียบของเขาคันทรงและเขาหินทรายและหินดินดาน สีเทาปานกลาง ปรากฏธารประสานสายชัดเจน (Figure 3)

ส่วนในเขตคลองอู่ตะเภา วรรณะสีเทาแปรปรวน เรียบทางน้ำไหลแบบกึ่งไม้และขนาน ภูมิประเทศเป็นทางน้ำโค้งวัด ทะเลสาบรูปแอกและที่ราบน้ำท่วมถึง (Figure 4) ส่วนเขตนาหม่อม เนื้อภาพปานกลางถึงหยาบ จะมีวรรณะสีเข้มในบริเวณเป็นเขายอดแหลม ส่วนสีเทาถึงเทาอ่อน บริเวณสะสมกรวดทราย (Figure 5) แหล่งทรายเขตจะนะ-เทพา ในที่ราบและที่ลุ่มเนื้อภาพละเอียดถึงปานกลาง สีเทาอ่อนถึงขาว ส่วนบริเวณที่เป็นเขาสูงชัน มีเนื้อภาพปานกลางถึงหยาบ วรรณะสีเทา รวดรามาทราย (Figure 6)

2. การกระจายของศักยภาพแหล่งทรายก่อสร้าง

ผลการสำรวจศักยภาพแหล่งทรายแบ่งออกได้เป็น 8 พื้นที่ย่อย อยู่ใน 4 เขต คือ เขตรัตภูมิ-ควนเนียง เขตคลองอู่ตะเภา เขตนาหม่อม และ เขตจะนะ-เทพา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 เขตรัตภูมิ-ควนเนียง

พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบ ที่ราบลุ่มริมฝั่งทะเลสาบสงขลา มีทั้งเนินเตี้ยและภูเขาที่ไม่สูงมากนัก กระจายอยู่ห่างกัน ส่วนปากตะวันตกของพื้นที่ มีเทือกเขาทอด

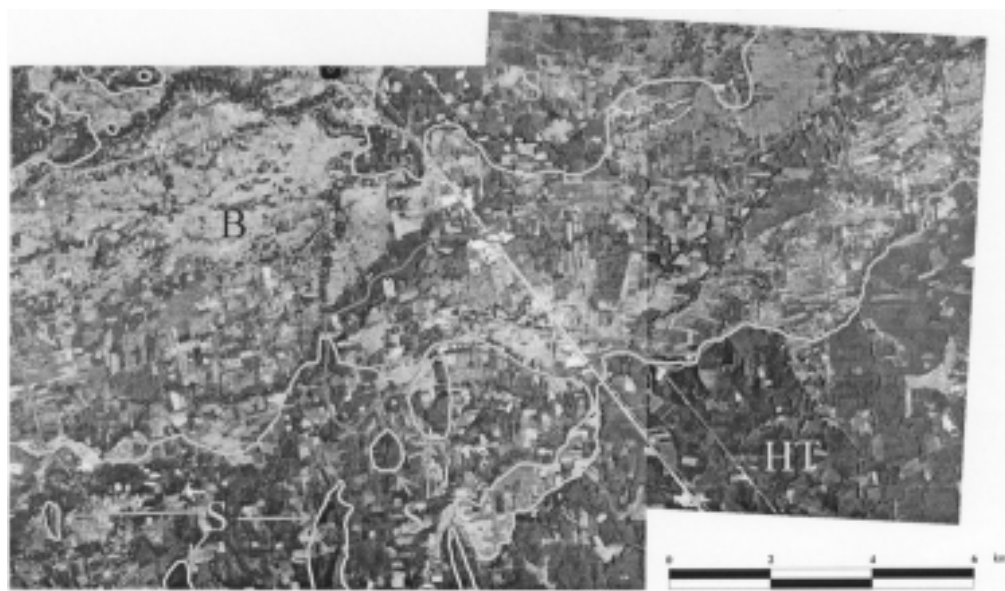


Figure 3. Aerial photograph showing feature of braided drainage pattern deposits (B) including , natural levee deposits, flood plain deposits, part of an alluvial high terrace (HT) and surrounded by limestone and sandstone-shale rocks (S) in Rattaphum-Khuan Niang deposit.

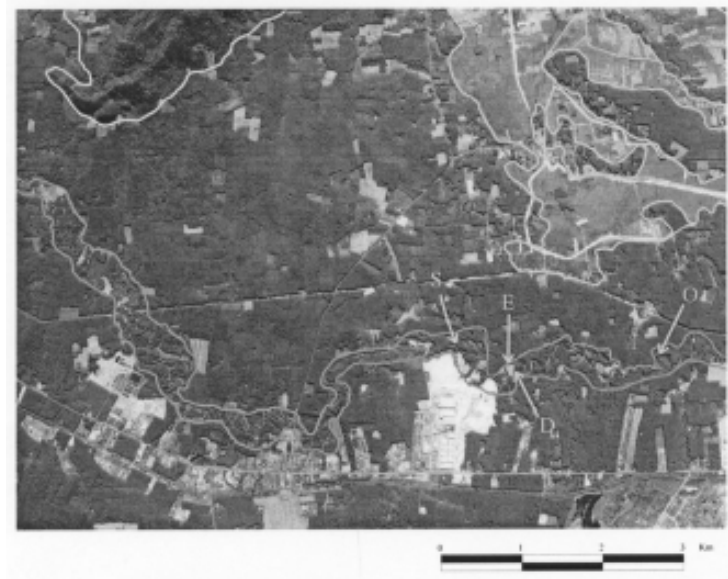


Figure 4. Aerial photograph showing features of a flood plain along U-Taphao. Erosion is taking place at (E) and deposition at (D). Meander scars and scrolls are seen at point (S). The oxbow lake at (O) is being filled by overflow sediments and by peat.

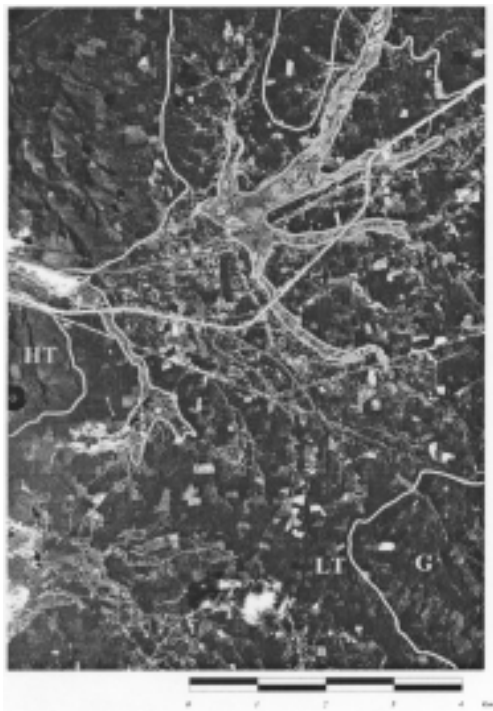


Figure 5. Aerial photograph showing view of alluvial plain (A) of Na Mom sand deposit. The small lower terraced fields (LT) are on the residual granite (G).

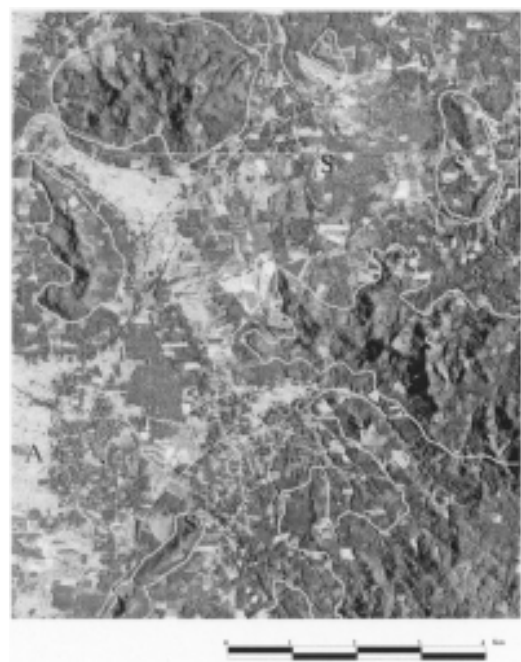


Figure 6. Aerial photograph showing view of an alluvial plain (A) and granite wash (GW) developed on the slope of mountain range of granite (G) and sandstone-shale (S) in Chana-Thepa deposit.

วางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และเป็นเขาหินปูนโดด อยู่บริเวณที่ราบตะวันตกเฉียงเหนือของ ะวางแผนที่

2.1.1 แบบรูปทางน้ำและลักษณะแอ่งสะสม

ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบและเนินเตี้ยๆ มีทางน้ำแบบรูปกิ่งไม้ (dendritic pattern) อยู่ในระยะ มีขมิ้มวัยถึงปัจฉิมวัย มีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออกโดยประมาณ ลงสู่ทะเลสาบสงขลา ทางน้ำสายหลัก ได้แก่ คลองภูมิหรือคลองรัตภูมิ คลองเขาร้อน เป็นต้น

พื้นที่อำเภอรัตภูมิและอำเภอควนเนียง เป็นส่วนหนึ่งของขอบด้านทิศตะวันตกของแอ่งลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (ดอนพลและคณะ 2543) ดังนั้นตะกอนน้ำพามาจึงสะสมตัวน้อยทางตะวันตกและสะสมหนาขึ้นทางทิศตะวันออกของแหล่ง ซึ่งหินต้นกำเนิดตะกอนที่สำคัญ ได้แก่ แนวเทือกหินแกรนิตกลาง (central granite belt) ในเทือกเขาบรรทัดที่รอยต่อกับจังหวัดสตูล เป็นหินยุคปลายไทรแอสซิก-จูแรสซิก (Triassic-Jurassic period) นอกจากนี้หินตะกอนเนื้อประสม (clastic sedimentary rocks) ยุคไซลูเรียน (Silurian) ดีโวเนียน (Devonian) และคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous) ได้แก่ หินทรายและหินกรวดมน เป็นต้น สะสมในลักษณะสิ่งทับถมร่องน้ำ (channel deposits) และสิ่งทับถมขอบร่องน้ำ (channel margin deposits)

2.1.2 ธรณีวิทยาแหล่งทราย

พบว่ามึลักษณะการสะสมตัวของตะกอนแหล่งนี้อยู่ในพื้นที่ที่เป็นที่ราบและที่ลุ่มต่ำ โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงกับคลองเขาร้อนและคลองรัตภูมิ ในกำแพงเพชรและบางเหริยง อ.รัตภูมิ มีบ่อทรายเปิดดำเนินการอยู่และบ่อทรายเก่ากระจายอยู่เป็นหย่อมๆ บ่อทรายส่วนใหญ่มีน้ำท่วมขังอยู่ตลอดเวลา อันเป็นอุปสรรคแก่การตรวจดูชั้นหน้าทราย อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งแหล่งทรายทางธรณีวิทยาออกได้เป็น 2 พื้นที่ย่อย (Figure 7) คือ

1) แหล่งทรายแรก มีตำแหน่งพิกัดยูทีเอ็ม 785622 เหนือ 643285 ตะวันออก ในแผนที่ภูมิประเทศ ะวาง 5023 II มีการสะสมตัวของตะกอนกรวดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว มีความหนาแน่นทั้งหมดประมาณ 14 เมตร (Figure 8) ชั้นหน้าดิน (top soil)

เป็นดินเหนียวปนทรายแป้งสีเทา-น้ำตาลแกมเหลือง แทรกสลับด้วยชั้นบางๆ ของทรายขนาดเม็ดละเอียดถึงปานกลาง สีเทาขาว ลึกลงไปเป็นชั้นตะกอนทรายขนาดละเอียดถึงปานกลาง ที่สลับอยู่กับชั้นตะกอนทรายขนาดปานกลางถึงหยาบมากและมีกรวดปนอยู่บ้างหนา 1-5 เมตร ในชั้นล่างของทรายส่วนนี้มีซากต้นไม้ขนาดใหญ่ แทรกอยู่เป็นจำนวนมาก ชั้นหินดาน (bed rock) เป็นหินดินดาน (shale) สีเทา-เทาแกมเหลือง ที่มีความผุสูง นอกจากนี้ยังพบแร่ไฟไรต์และมัสโคไวต์ปะปนอยู่ โดยหินดานวางตัว S18 °E / 40 °S จัดอยู่ในหินยุคคาร์บอนิเฟอรัส

2) แหล่งทราย มีตำแหน่งพิกัดยูทีเอ็ม 788174 เหนือ 647503 ตะวันออก มีความหนาแน่นจากหน้าเหมืองที่เปิดให้เห็นอยู่ ที่ความลึกประมาณ 17 เมตร ยังไม่พบชั้นหินดาน ชั้นหน้าดินที่ปิดทับ เป็นทรายแป้งปนทรายละเอียด ดินเหนียวปนสีขาว เทาจนถึงน้ำตาลจาง มีพีต (peat) ปนมากในส่วนบน ชั้นถัดมาเป็นตะกอนทรายขนาดละเอียดถึงปานกลาง สีเทาถึงเหลืองอ่อน โดยมีชั้นทรายที่จับตัวกันแข็งประสานด้วยเหล็กออกไซด์สีน้ำตาลเข้ม เรียกว่า ชั้นดานเหล็ก (iron pan) ลึกลงไปเป็นชั้นทรายเม็ดขนาดปานกลางจนถึงกรวดขนาดใหญ่ ซึ่งมีสีขาวแกมเทาถึงเทา เหลืองซีด การคัดขนาดปานกลางถึงเลว (moderately to poor graded) แสดงลักษณะการวางชั้นเฉียงระดับ (cross bedding) และที่ระดับความลึก 8-12 เมตร ปรากฏชั้นทรายละเอียดแทรกสลับกับพีตอยู่ถึง 8 ชั้นด้วยกัน นอกจากนี้ที่ระดับความลึกประมาณ 15 เมตร ก็ยังปรากฏมีพีตอยู่เช่นกัน แต่มีขนาดและปริมาณน้อยกว่าตอนบนที่ได้กล่าวมา

2.2 เขตคลองอู่ตะเภา

คลองอู่ตะเภา เป็นลำน้ำสายหลักที่ใหญ่ที่สุดในบริเวณลุ่มน้ำหาดใหญ่-สะเดา ที่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ มีธารน้ำขนาดเล็กหลายสายที่ไหลมาบรรจบกัน คลองสายนี้เริ่มจากบริเวณอำเภอสะเดา ไหลลัดเลาะมาทางทิศเหนือผ่านอำเภอคลองหอยโข่ง หาดใหญ่ บางกล่ำ แล้วไหลออกสู่ทะเลสาบสงขลา ด้านทิศตะวันออกของคลองอู่ตะเภาหรือขอบแอ่งหาดใหญ่ด้านทิศตะวันออก เป็นบริเวณเนินสูง-ต่ำ ที่มีความกว้างไม่มากนัก โดยมีความลาดชันได้ระดับขึ้นไปจนถึงบริเวณภูเขา มีริ้วธาร (rill) ไหลจากทิศตะวันออกมายังทิศตะวันตก ส่วนด้านทิศตะวันตก

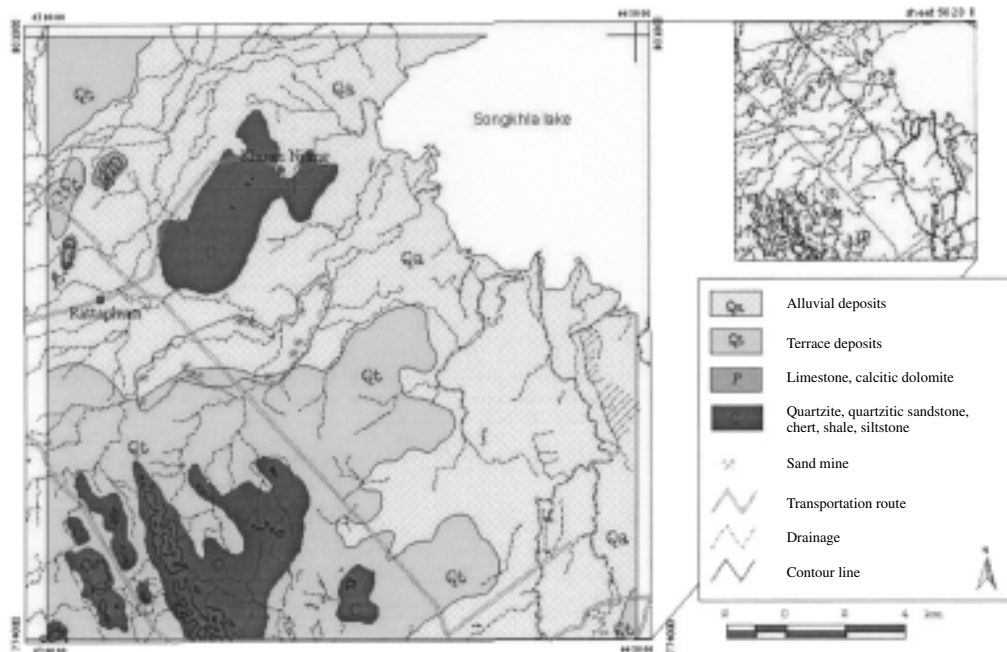


Figure 7. Geology, sand distribution and mine localities in Rattaphum-Khuan Niang area (modified from geological map 1:250,000)

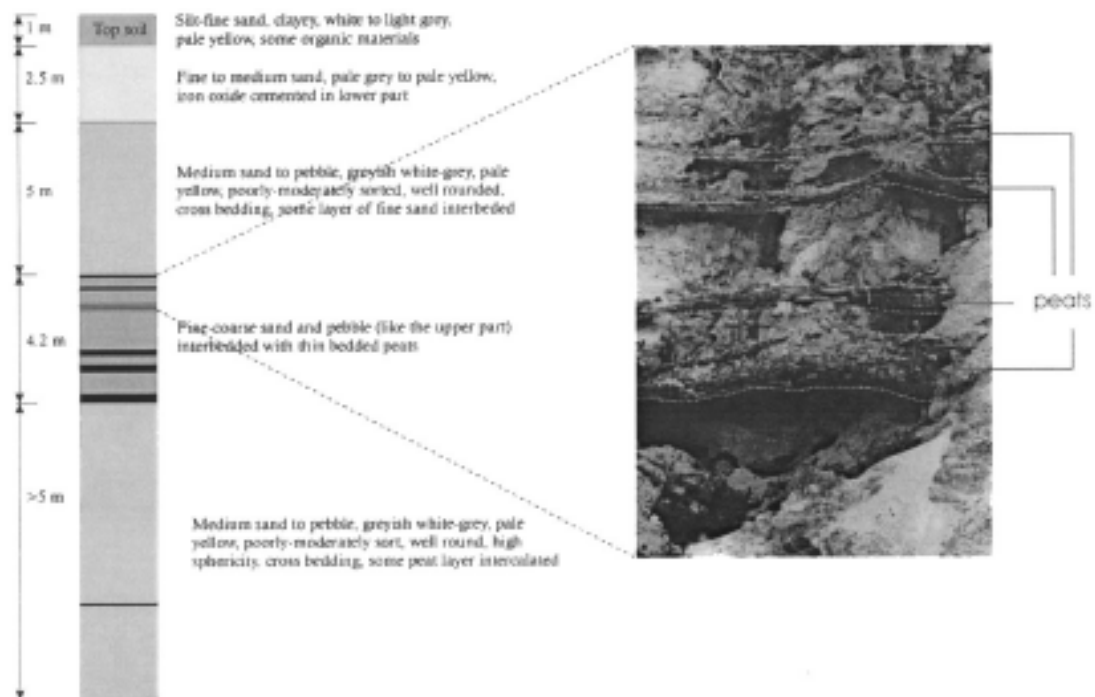


Figure 8. Litho-stratigraphic column of a) Rattaphum-Khuan Niang sand deposit and b) profile of sand deposit at a sand pit.

ของคลองอยู่ตะเภา เป็นที่ราบกว้างใหญ่สลับด้วยเนินและลาดชันสูงขึ้นเมื่อเข้าไปใกล้เทือกเขาสูง ที่อยู่ห่างจากคลองอยู่ตะเภาไม่น้อยกว่า 15 กม.

2.2.1 แบบรูปทางน้ำและลักษณะแอ่งสะสม

แอ่งหาดใหญ่-สะเดา วางตัวเป็นแนวยาวเหนือ-ใต้ มีภูเขาสูงและเนินขนาบทั้งสองข้าง ทางน้ำที่เกิดอยู่ในพื้นที่นี้จึงประกอบด้วย ร่องธาร (gully) อยู่มากมาย ทั้งสองข้างของแอ่ง ในบางบริเวณมีแบบรูปทางน้ำกึ่งไม่ผสมกับแบบรูปทางน้ำขนาน ทางน้ำทั้งหมดของสองฝั่งแอ่งหาดใหญ่-สะเดา ไหลมารวมเข้ากับคลองอยู่ตะเภา ซึ่งกว้างประมาณ 15-30 เมตร มีลักษณะทางน้ำโค้งตัว (meander) และ รอยทะเลสาบรูปแอก (oxbow scar) นอกจากนี้การหักมุมของแนวคลองอยู่ตะเภาในบางบริเวณที่ขนานกับทางน้ำสาขา แสดงถึงแนวโครงสร้างทางธรณีวิทยา ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นรอยเลื่อน (fault) ระดับท้องถิ่น มีแนวอยู่ในทิศประมาณ N45°E (ดุนพลและคณะ 2540)

จากการติดตามลักษณะทางน้ำโค้งตัว อยู่ตัว (entrenched meander) ของคลองอยู่ตะเภา ด้วยแผนที่ภูมิประเทศ ปี พ.ศ. 2511 และ ปี พ.ศ. 2530 กับรูปถ่ายทางอากาศ พ.ศ. 2538 พบว่ามีลักษณะเป็นทางน้ำโค้งตัวงอก (ingrown meander) ความคดโค้งของลำน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจนเกิดคอคอด โดยเฉพาะในบริเวณส่วนปลายสายน้ำ จนทำให้การกวาดทรายทับถมเกิดรอยทางน้ำโค้งตัว (meander scar) จำกัดอยู่ภายในเขตทางน้ำโค้งตัว (meander belt) มีความกว้าง 130-520 เมตร และมีความยาวตลอดสายน้ำประมาณ 25 กม.

2.2.2 ธรณีวิทยาแหล่งทราย

แหล่งทรายเขตนี้ทับถมอยู่ในรอยทะเลสาบรูปแอก ทางน้ำโค้งตัว และเนินตะกอนน้ำพา จากแหล่งทรายที่เปิดดำเนินการอยู่บริเวณสองฝั่งคลองอยู่ตะเภา (Figure 9) พบว่าลักษณะตะกอนทราย ชั้นหน้าดินเป็นทรายละเอียด ทรายแป้ง และบางแห่งมีดินเหนียวปนเล็กน้อย มีความหนาจากผิวดินอยู่ในช่วง 2-7 เมตร ชั้นล่างถัดลงไปเป็นชั้นทรายละเอียดถึงทรายหยาบปนกรวด ความลึกไม่เกิน 12 เมตรจากผิวดิน ในชั้นทรายนี้บางบริเวณจะพบซากต้นไม้ปนอยู่ด้วย เช่น พื้นที่ตำบลบ้านพรุ ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับในเขตรัตถภูมิ-ควนเนียง หินต้นกำเนิดทราย ได้แก่ หินทราย แทรกสลับด้วยหินทรายปนกรวด

และหินทรายแป้งของหมวดหินสะเดา ยุคเทอร์เชียรี (Tertiary) และหมวดหินนาทวี ยุคไทรแอสซิก (ดุนพล 2540)

2.3 เขตนาหม่อม

มีลักษณะภูมิฐานเป็นหุบเขาที่รายล้อมด้วยภูเขาสูงและเนิน พื้นที่ในหุบเขาส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเนินเตี้ยๆ โดยมีที่ราบแคบในบริเวณสองฝั่งของทางน้ำสายเล็กๆ อันได้แก่ คลองหะ และคลองม่วง ที่ไหลมาบรรจบรวมกันก่อนไหลออกจากหุบเขามาทางทิศตะวันตก

2.3.1 แบบรูปทางน้ำและลักษณะแอ่งสะสม

เป็นแหล่งทรายขนาดเล็กที่แยกกระจายแยกกันอยู่ 3 พื้นที่ย่อย (Figure 5) ครอบคลุมพื้นที่รวมทั้งหมด 2.791 ตร.กม. ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1) พื้นที่แหล่งแรก อยู่บริเวณใกล้เคียงบ้านนาทองสุข ตำบลทุ่งขมิ้น ที่เป็นแหล่งทรายที่อยู่ใกล้ทางน้ำขนาดเล็กของคลองท่าทวนและคลองปลักโก ที่มีขอบเขตแหล่งทรายคล้ายรูปตัว "C" กว้างไม่เกิน 300 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ 0.854 ตร.กม.

2) พื้นที่แหล่งที่สอง อยู่ทิศตะวันออกของอำเภอนาหม่อม ประกอบด้วย 2 แหล่งย่อย คือแหล่งล่างบริเวณสองฝั่งคลองหะ อยู่ในเขตตำบลทุ่งขมิ้นและตำบลคลองหรีง มีศักยภาพแหล่งทรายครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 0.792 ตร.กม. ยาว 2.1 กม. กว้างประมาณ 400 เมตร ส่วนแหล่งบนอยู่ในบริเวณที่ราบสองฝั่งทางน้ำขนาดเล็กใกล้เคียงบ้านพลีควาย ในพื้นที่ตำบลนาหม่อมและตำบลพิจิตร พื้นที่ศักยภาพแหล่งทราย มีรูปคล้ายตัว "T" ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 1.135 ตร.กม.

2.3.2 ธรณีวิทยาแหล่งทราย

พื้นที่แหล่งกรวดทรายทับถมในบริเวณตะพักลำน้ำคลองหะ (Figure 10) และทับถมจากการกร่อนแบบผิวแผ่น (slope wash) และทับถมริมทางน้ำปัจจุบันในหุบเขา (Figure 11) ในบริเวณส่วนล่างใกล้บ้านนาทองสุข เป็นแหล่งทรายที่อยู่ใกล้กับทางน้ำที่พัดพาตะกอนจากภูเขาด้านทิศใต้เป็นระยะทางไม่เกิน 5 กม. ธรณีสัณฐานส่วนใหญ่เป็นเนินที่มีที่ราบแคบอยู่บนสองฝั่งธารน้ำขนาดเล็ก ตะกอนไม่หนา มีปริมาณกรวดขนาดใหญ่ปนอยู่สูง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแร่ควอร์ตซ์ และมีกรวดของหินทราย หินควอร์ตไซต์ หินเชิร์ต เป็นต้น มีรูปทรงกลมมน ผลสำรวจในบริเวณที่เปิดทำเหมืองพบว่าชั้นหน้าดินเป็นทราย

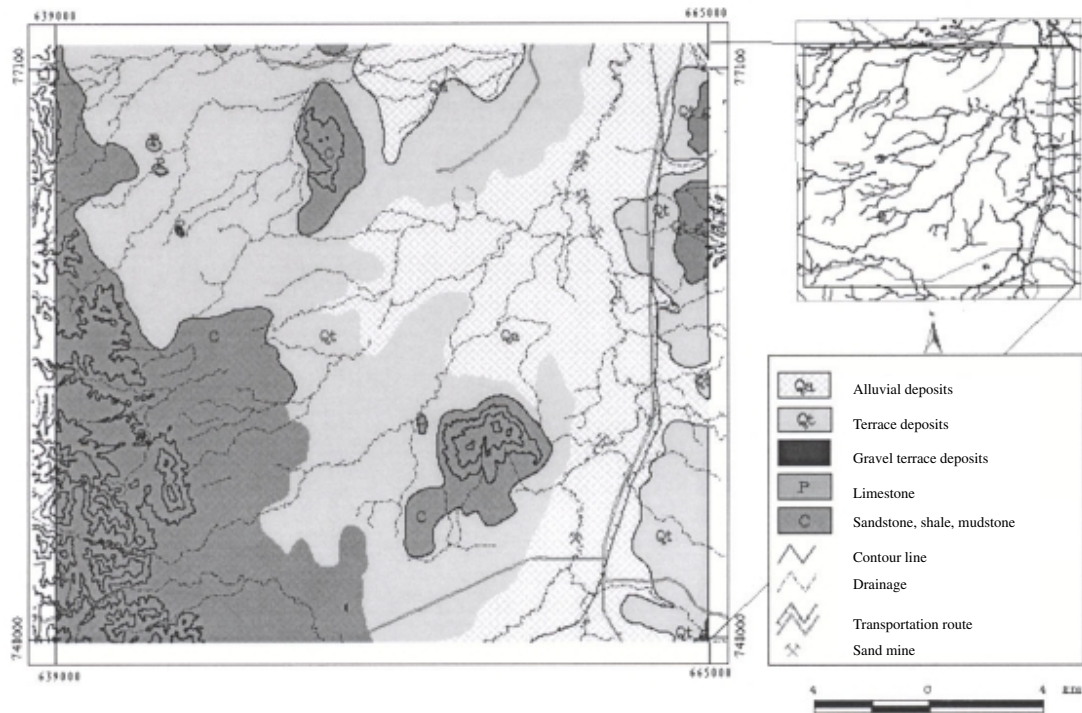


Figure 9. Geology, sand distribution and mine localities in U-Taphao area (modified from geological map 1:250,000)



Figure 10. Terrace gravel with erosion along road from Hat Yai to Na Mom.

ปนกรวดและมีชั้นดินเหนียวสลับที่ หนาประมาณ 0.5 เมตร ถัดลงไปเป็นชั้นกรวดทราย ที่มีการกระจายขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอมาก โดยทั่วไปสีค่อนข้างขาว สีน้ำตาลอ่อน มีความหนาประมาณ 1.5-3.0 เมตร บางบริเวณมีชั้นดาน

ดินเหนียว (claypan) สีดำ ซึ่งหนาประมาณ 1 เมตร แทรกสลับอยู่กับชั้นกรวดทรายดังกล่าวเช่นกัน

2.4 เขตจะนะ-เทพา

พื้นที่ด้านทิศเหนือจรดอ่าวไทย มีลักษณะเป็นที่ราบ ที่ราบลุ่ม หาด และมีภูเขาขนาดเล็กถึงใหญ่กระจายอยู่ทั่วไป ด้านทิศใต้มีทั้งภูเขาโดดและเทือกเขาซับซ้อนมาก วางตัวอยู่ในแนวประมาณเหนือ-ใต้ เป็นที่ราบ ที่ราบลุ่ม และลานหินพัง (scree) มีรูปร่างหลายทิศทางที่ไหลลงมาตามเทือกเขา พัดพาตะกอนมาสะสมสู่เบื้องล่าง ก่อนที่จะไปรวมกับทางน้ำหลัก อันได้แก่ คลองสะกอม และแม่น้ำเทพา ที่ไหลลงสู่อ่าวไทยทางทิศเหนือ

2.4.1 แบบรูปทางน้ำและลักษณะแอ่งสะสม

บรรดารูปร่างได้พาตะกอนกรวด ทราย มาสะสมตัว มีลักษณะทางน้ำแบบกึ่งไม้ โดยฝั่งเขตอำเภอจะนะมีทิศทางการไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือก่อนย้อนกลับไปทางทิศเหนือ รวมกับทางน้ำสายหลักไหลลงสู่อ่าวไทย ตะกอนสะสมตัวอยู่ใน 2 พื้นที่ย่อยที่ต่อเนื่องกัน (Figure 6) คือ

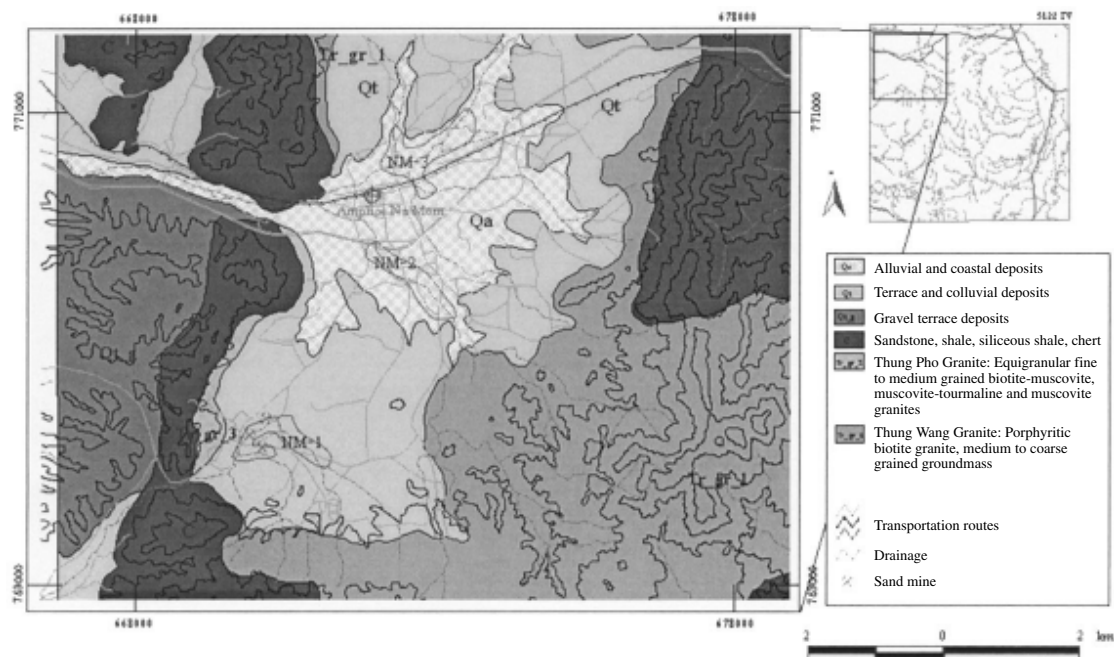


Figure 11. Geology, sand distribution and mine localities in Na Mom area (after Nakapadungrat and Chaisen, 1986)

1) พื้นที่ย่อยแรก อยู่ที่ลาดชันติดกับภูเขาที่เป็นต้นกำเนิดของตะกอน ลักษณะธรณีสัณฐานเริ่มเปลี่ยนจากที่ราบทางด้านทิศตะวันตกมาเป็นเนินเตี้ยทางด้านทิศตะวันออก ได้แก่ บริเวณบ้านสะพานไม้แก่นตก และสะพานไม้แก่นกลาง

2) ส่วนพื้นที่ย่อยที่สอง เป็นพื้นที่ราบและที่ราบลุ่มที่ต่อเนื่องมาจากทางทิศเหนือ มีธารประสาธสาย (braided stream) ปรากฏอยู่ เป็นพื้นที่นาและปล่อยทิ้งร้างไว้ บางบริเวณมีน้ำขังอยู่ ทางทิศตะวันออกของควนล้านและควนจำศีล อันเป็นพื้นที่รอยต่อระหว่างอำเภोजะนะกับอำเภอกะทรา

2.4.2 ธรณีวิทยาแหล่งทราย

ศักยภาพแหล่งทรายมีการสะสมจากการกร่อนแบบผิวแผ่น และลานหินพัง (Figure 12) ในพื้นที่นี้มีบ่อทรายเปิดดำเนินการอยู่ 1 แห่ง (ทรายทั้งจากการทำเหมืองดิบ) และบ่อเก่า 2 แห่ง ซึ่งอยู่ใกล้กันในบริเวณที่ราบลุ่มทางด้านทิศตะวันออกของควนจำศีล อ.จะนะ ซึ่งเป็นบริเวณส่วนเหนือของพื้นที่ศักยภาพแหล่งทรายที่ได้จากการแปลความรูปลักษณ์ทางอากาศ บ่อทรายจะมีน้ำขัง

อยู่มาก จึงเป็นอุปสรรคแก่การเก็บข้อมูลลักษณะชั้นทรายที่ไม่สามารถทำได้มากนัก

ในบริเวณที่เปิดบ่อเป็นที่ราบลุ่ม ชั้นหน้าดินเป็นทรายละเอียด ทรายแป้ง มีดินเหนียวปน สีเทาถึงเทาดำ หนาไม่เกิน 1 เมตร มีพืชน้ำ ถัดลงไปเป็นชั้นทรายหยาบปนกรวด โดยทั่วไปสัณฐานข้างขาวถึงเหลือง ในบางจุดระหว่างชั้นนี้กับหน้าดิน มีชั้นดานเหล็ก สีน้ำตาล ซึ่งหนาไม่เกิน 30 ซม. ทรายในชั้นถัดลงไปอยู่ลึกประมาณ 5-15 เมตร

สำหรับตะกอนที่สะสมตัวเป็นเนินเตี้ยนั้น เมื่อดตะกอนทรายมีขนาดหยาบถึงหยาบมาก คละอยู่กับทรายละเอียด (Table 2) จากการสังเกตหินโผล่ที่ถนนตัดผ่านและริมตลิ่งธารน้ำ พบว่าเป็นตะกอนพัดพาอยู่ไม่ไกลจากหินต้นกำเนิดมากนัก เนื่องจากพบว่ามีหินไบโอไทต์แกรนิตและทัวร์มาลีน-ไบโอไทต์แกรนิต โผล่อยู่ในบริเวณภูเขาทางด้านทิศตะวันออก มีทั้งเนื้อขนาดเดียวและเนื้อออก (สมชัย และคณะ, 2539) ซึ่งอยู่ในแนวเทือกหินแกรนิตกลางของยุคไทรแอสซิก

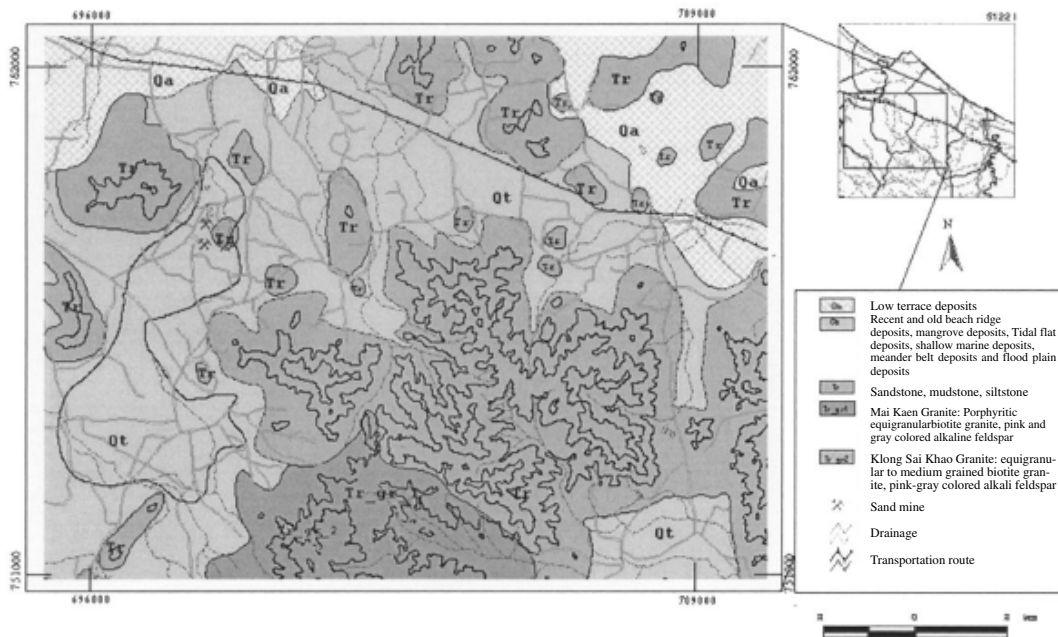


Figure 12. Geology, sand distribution and mine localities in Chana-Thepha area (after Nakapadungrat *et al.*, 1988)

3. ผลสำรวจด้านธรณีไฟฟ้า

การแปลผลได้สังเกตลักษณะรูปร่างเส้นโค้งความต้านทานจำเพาะสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลงมากเป็นหลัก เนื่องจากลักษณะธรณีวิทยาบริเวณทับถมตะกอนไม่มีความซับซ้อนของกำเนิดและโครงสร้างก่อกับเป็นตะกอนที่โดดเด่นในแหล่งทรายซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มได้เพียง 2-3 ชนิดเท่านั้น ค่าความต้านทานจำเพาะปรากฏและความหนาของชั้นต่างๆ พบว่าโดยทั่วไปมีชั้นใต้ดินแบ่งออกได้ 3 ชั้น (Table 3) ชั้นหน้าดินมีความหนาในช่วง 0.5-12.6 เมตร มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง >166- >1,011 โอห์ม-เมตร ลึกลงไปเป็นชั้นกรวดทรายหนาในอยู่ช่วง 1.5-45.4 เมตร มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 41-694 โอห์ม-เมตร และความลึกชั้นหินดานผุ และ/หรือหินดานพบว่าเส้นโค้งความต้านทานจะโค้งบิดงออย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับเส้นโค้งของชั้นตะกอนต่างๆ ที่วางอยู่ตอนบน (Figure 13) มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย ในพิสัย 6-36 โอห์ม-เมตร เส้นโค้งที่คำนวณหาบิจับคู่กับค่าที่วัดจากในสนามนั้น มีค่าผิดพลาดรายกกำลังสองเฉลี่ยในพิสัย 2-4

4. คุณภาพทรายก่อสร้าง

การจำแนกคุณภาพในที่นี้เน้นตามการประยุกต์ในงานถม ปูนปลาสเตอร์และมอร์ตาร์ และคอนกรีตเป็นหลัก มีปริมาณส่วนน้อยนำไปใช้ในอุตสาหกรรม เช่น เชื้อถลุง ในการหลอม และงานหล่อโลหะ เป็นต้น

4.1 ทิศาบรรณนา

ภายใต้กล้องกำลังขยาย พบว่ารูปทรงของเม็ดทรายกลมมนนั้นพบแต่เฉพาะในแหล่งคลองอู่ตะเภาเท่านั้น แหล่งอื่นนอกนั้นค่อนข้างเป็นเหลี่ยมถึงกึ่งมน (Table 2) มีข้อสังเกตว่าเป็นแหล่งอยู่ใกล้หินต้นกำเนิด วัสดุองค์ประกอบในทรายที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่ แร่ควอร์ตซ์ เฟลด์สปาร์ มีปนเล็กน้อย ได้แก่ ทัวร์มาลีน ไมกา (Table 5) ถึงแม้ว่าแร่ไพไรต์ มัสโคไวต์และไบโอไทต์มีผลเสียต่อคอนกรีต ปูนปลาสเตอร์และมอร์ตาร์ แต่ก็มีปริมาณต่ำกว่า 3% อันไม่ก่อความเสียหาย (SABS 1083, SABS 1090) นอกจากนี้ยังพบเศษหินเชิร์ต หินทราย หินดินดาน หินโคลน (mudstone) หินทรายแป้ง และฟิต

Table 3. Summary of the average vertical electrical sounding depth of sand deposits

Thickness of formations, m	Rattaphum-Khuan Niang	U-Taphao	Na Mom	Chana-Thepha
Overburden, m.	0.0-9.4	0.0-12.6	0.0-6.9	0.0-4.3
Gravel-sand bed, m.	1.2-36.0	1.1-51.9	0.5-14.1	1.3-11.9
Weathered bed rocks, m.	>7.0->25.5	>6.8->51.9	0.8-36.5	>6.1-21.6
Bed rocks, m	> 16.9	-	>5.3->36.5	>16.0->21.6

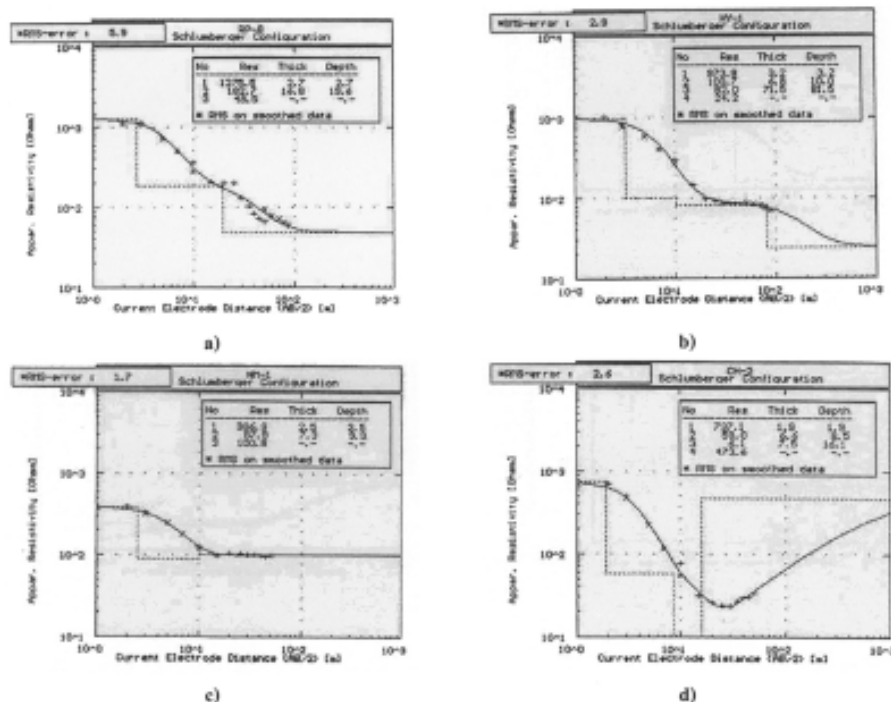


Figure 13. Geoelectrical layers interpretation of sand deposits in region of a) Rattaphum-Khuan Niang, (RP-8) b) U-Taphao (UT-1), c) Na Mom (NM-1) and d) Chana-Thepha (CH-2).

4.2 การทดสอบและจำแนกประเภท

จากการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายขนาดของเม็ดทรายชนิดเม็ดละเอียด พบว่าทรายทั้งหมดค่อนข้างอยู่ในเกณฑ์กำหนดของ ASTM C 33 (Figure 14) ค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ในพิสัย 2.40-3.70 เฉลี่ย 2.98 มีความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.40 แม้ว่าค่านี้ไม่ป้องกันการคละ แต่ก็ยังเป็นปัจจัยมีประโยชน์ระบุถึงความแปรผันน้อยในการคัดขนาดของทรายจากแหล่งเดียวกัน บรรดาวัสดุที่ขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร (ทรายแป้งและดินเหนียว) มีเพียง 0.2-3.78% เกินกว่ามาตรฐาน 3% เล็กน้อย จัดว่า

เหมาะสม ตัวอย่างทรายทั้งหมดจำแนกกลุ่มตาม AASHTO พบว่าอยู่ในกลุ่ม A-1-b (Table 4) นั่นคือ มีการคละขนาดดีประกอบด้วย กรวด ทรายหยาบ ทรายละเอียดและปราศจากดินที่มีสภาพพลาสติกหรือมีเล็กน้อยปนอยู่ และหากจำแนกตามระบบดินเอกภาพ พบว่าแบ่งออกได้ 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่ม SP (ทรายสะอาดที่มีการคละขนาดเลว ทรายปนกรวด มีส่วนละเอียดปนเล็กน้อยหรือไม่มี) จำนวน 13 ตัวอย่าง และกลุ่ม SW (ทรายสะอาดที่มีการคละขนาดดี ทรายปนกรวด มีส่วนละเอียดปนเล็กน้อยหรือไม่มี) จำนวน 5 ตัวอย่าง

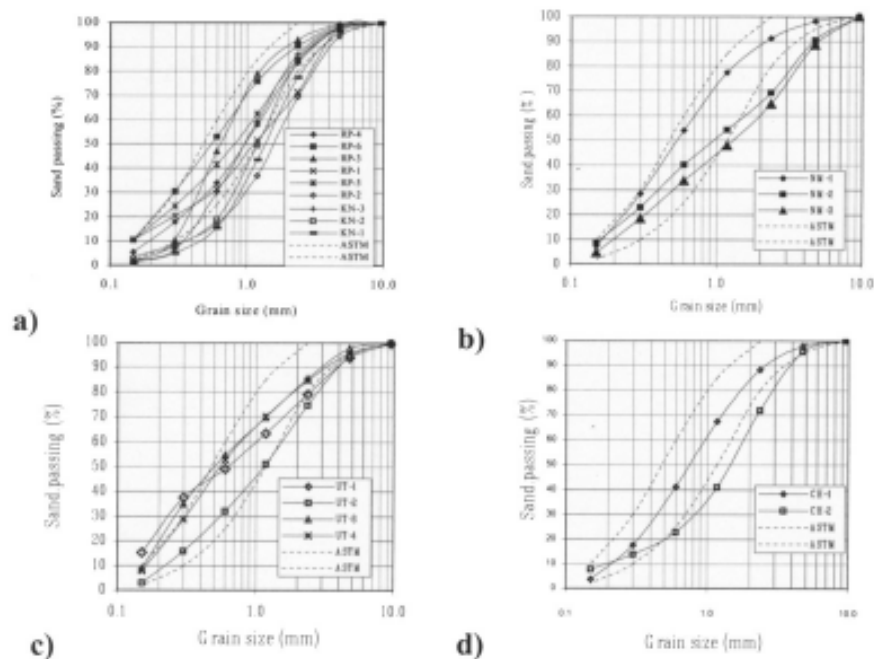


Figure 14. Grain size distribution curves of the sand samples from region of a) Rattaphum-Khuan Niang, b) U-Taphao, c) Na Mom and d) Chana-Thepha superimposed on grading of ASTM required upper and lower limits for fine aggregates.

Table 4. Results of physical and chemical properties on the sand samples of Songkhla province

Region	Sample number	S.G.	Absorption , %	Soundness	Fineness Modulus	AASHTO	USC
Rattaphum-Khuan Niang	RP-1	2.63	0.68	4.06	3.07	A-1-b	SW
	RP-2	2.65	0.80	2.53	3.70	A-1-b	SP
	RP-3	2.64	0.51	5.09	2.69	A-1-b	SP
	RP-4	2.64	0.39	6.49	3.00	A-1-b	SW
	RP-5	2.64	0.72	10.01	2.92	A-1-b	SW
	RP-6	2.65	0.78	6.28	2.40	A-1-b	SP
	KN-1	2.64	0.69	12.54	3.60	A-1-b	SP
	KN-2	2.64	0.44	14.76	3.39	A-1-b	SP
	KN-3	2.65	0.41	12.05	3.14	A-1-b	SP
U-Taphao	UT-1	2.65	0.39	3.34	2.62	A-1-b	SP
	UT-2	2.64	0.19	3.03	3.29	A-1-b	SP
	UT-3	2.64	0.18	5.37	2.84	A-1-b	SP
	UT-4	2.64	0.28	11.68	2.60	A-1-b	SP
Na Mom	NM-1	2.67	1.00	10.64	2.44	A-1-b	SP
	NM-2	2.64	0.64	11.68	3.14	A-1-b	SP
	NM-3	2.64	0.65	15.46	3.42	A-1-b	SW
Chana-Thepha	CH-1	2.64	0.59	11.38	2.84	A-1-b	SP
	CH-2	2.66	1.12	7.73	2.47	A-1-b	SW

Table 5. Mineral composition and silica oxide contents

Region	Sample number	Essential particles	Organic impurities	SiO ₂ (%)
Rattaphum-Khuan Niang	RP-1	Smoky quartz, milky quartz and	2	91.36
	RP-2	rock crystal more than 85 % of	2	94.32
	RP-3	composition, feldspar and rock	1	94.99
	RP-4	fragments of chert, peat and	2	92.72
	RP-5	trace elements of tourmaline,	2	93.05
	RP-6	biotite and muscovite	1	92.45
	KN-1		3	95.28
	KN-2		4	95.13
	KN-3		2	93.31
U-Taphao	UT-1	Quartz, feldspar, small amount	1	97.12
	UT-2	of tourmaline and rock frag-	2	97.80
	UT-3	ments of chert, sandstone,	2	97.48
	UT-4	shale, mudstone, and siltstone	3	97.63
Na Mom	NM-1	Quartz, feldspar, small amount	5	91.12
	NM-2	of tourmaline and muscovite	5	89.93
	NM-3		1	94.12
Chana-Thepha	CH-1	Mainly milky quartz to rock crystal,	1	94.89
	CH-2	feldspar, few biotite and tourmaline	5	96.29

Table 6. Requirements for buffer zone and nature reserves for evaluation of building sand deposits in this study

List of items	Information feature	Buffer zone distance
1. Mineral Statutory 1967 modified 1994	line	
1.1 Transportations		
- Principle road		100 m
- Minor road		50 m
1.2 Drainage or sources	line	50 m
2. Nature reserve	area	-
3. Republic area	point	-

4.3 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ

ค่าความถ่วงจำเพาะของทรายมีค่าสูงสุด 2.67 ของแหล่งนาหม่อม ค่าต่ำสุด 2.63 ของแหล่งวัดภูมิ-ควนเนียง ซึ่งค่าเฉลี่ยทุกแหล่ง 2.64 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.09 และ ค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดเป็น 1.12% ของแหล่งจะนะ-เทพา ค่าต่ำสุดเป็น 0.18% ของแหล่งคลองอู่ตะเภา (Table 4) มีค่าเฉลี่ยทุกแหล่งอยู่ที่จำนวน 0.58% ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.26% ซึ่งค่าการดูด

ซึมน้ำของมวลรวมละเอียดไม่ควรเกิน 3% เพราะจะมีผลต่อความสามารถเทได้ (workability) ของส่วนผสมและกำลังอัดของคอนกรีต (Collis and Fox, 1985)

4.4 สารอินทรีย์ การคงตัว และ ปริมาณซิลิกา-ออกไซด์

ตัวอย่างทรายทั้งหมดมีปริมาณสารอินทรีย์ที่เจือปนถึงขั้นเป็นสารอันตรายต่อคอนกรีต (deleterious substances) มีค่าเกิน 3 (ค่ามาตรฐาน) อยู่จำนวน 4

ตัวอย่าง (Table 4) ส่วนผลตรวจวัสดุมีความหนาแน่นต่ำ คือ พีต ที่พบปนในตัวอย่างจากแหล่งรัตนภูมิ-ควนเนียง และแหล่งคลองอู่ตะเภา บางครั้งเกินเกณฑ์ 1.0% (ASTM C 33) ค่าการคงตัวอยู่ในช่วง 2.53-15.46 % (Table 4) โดยแหล่งควนเนียงและนาหม่อมมีค่าค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อเทียบกับที่ยอมให้สูญหายได้ไม่เกิน 10% สำหรับมวลรวมละเอียด (ASTM C 33) ส่วนปริมาณของซิลิกาต่ำกว่า 98.5% คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 89.93-97.8% (Table 4) ซึ่งจัดเป็น ทรายก่อสร้างได้ นอกจากนี้นำไปเป็นเชื้อถลุงในการหลอม และในงานหล่อโลหะได้เช่นกัน

5. ประมวลพื้นที่แหล่งทราย

จากฐานข้อมูลศักยภาพแหล่งทรายธรรมชาติเพื่อการก่อสร้างในสงขลา ที่ได้จากการแปลรูปถ่ายทางอากาศเป็นหลัก (دنۇللىلىلىلى 2544) ที่อยู่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Arc/Info นำเข้าพิจารณาพร้อมกับฐานข้อมูลของพื้นที่ต้องกันออก ได้แก่ ทางน้ำสาธารณะ ทางคมนาคม พื้นที่สาธารณะชุมชน ถึงจะได้พื้นที่คงเหลือ (Figure 2) เพื่อประกอบการพิจารณาทำเหมืองทรายต่อไป ดังมีรายละเอียดในแต่ละแหล่งดังนี้

5.1 เขตรัตนภูมิ-ควนเนียง

ในพื้นที่ย่อย 2 แหล่ง พื้นที่ศักยภาพแหล่ง ทรายมีทั้งหมด 21.024 ตร.กม. (Table 7) และมีพื้นที่ อาจได้รับผลกระทบจากการพัฒนาทำเหมืองทรายเป็น บริเวณ 5.326 ตร.กม. ดังนั้นคงเหลือพื้นที่ศักยภาพแหล่ง ทรายอยู่ 15.697 ตร.กม. (Figure 15)

5.2 เขตคลองอู่ตะเภา

พื้นที่ศักยภาพแหล่งทรายเขตคลองอู่ตะเภา มี ทั้งหมด 8.421 ตร.กม. (Table 7) ส่วนใหญ่อยู่ในเขตสอง ริมฝั่งและที่ราบน้ำท่วมถึง จึงประเมินว่ามีพื้นที่ได้รับผล กระทบจากการพัฒนาทำเหมืองทรายเป็นบริเวณ 3.925 ตร.กม. ดังนั้นคงเหลือพื้นที่ศักยภาพแหล่งทรายอยู่ประมาณ 4.496 ตร.กม. (Figure 16)

5.3 เขตนาหม่อม

มีพื้นที่ย่อยศักยภาพอยู่ 3 บริเวณ เป็นหย่อม อยู่ในหุบแอ่งนาหม่อม มีทั้งหมด 2.780 ตร.กม. (Table 7) จึงมีพื้นที่อาจได้รับผลกระทบจากการพัฒนาทำเหมืองทราย เป็นบริเวณ 1.445 ตร.กม. ดังนั้นคงเหลือพื้นที่ศักยภาพ แหล่งทรายอนุมานอยู่ 1.335 ตร.กม. (Figure 17)

5.4 เขตจะนะ-เทพา

พื้นที่ย่อยทั้งสองแห่งเป็นหย่อมอยู่ในเขตจะนะ- เทพา ทั้งหมด 13.859 ตร.กม. (Table 7) จึงมีพื้นที่อาจ ได้รับผลกระทบจากการพัฒนาทำเหมืองทรายเป็นบริเวณ 3.852 ตร.กม. ดังนั้นคงเหลือพื้นที่ศักยภาพแหล่งทรายอยู่ เพียง 10.007 ตร.กม. (Figure 18)

6. ประเมินความหนาและปริมาณสำรองแหล่งทราย

ผลการสำรวจความลึกตามบ่อทรายและด้วยวิธีความ ดันทานไฟฟ้าพออนุมานความหนาได้จากทั้งเส้นชั้นความ หนาและความหนาเฉลี่ย มีรายละเอียดแต่ละแหล่ง ดังนี้

6.1 เขตรัตนภูมิ-ควนเนียง

จุดสำรวจความลึกแหล่งนี้ทั้งหมด 13 จุด (Table 3) กระจายคลุมพื้นที่ จากความหนาชั้นทรายที่

Table 7. Summary of buffer zone and remaining sand areas by ArcView processing

Subarea	Buffer zone (km ²)			Total buffer zone area (km ²)	Remaining resources (km ²)
	Transportation	Drainage	Public zones		
Rattaphum-Khuan Niang	2.773	2.653	0.050	5.326	15.697
U-Taphao	0.430	3.642	0.044	3.925	4.496
Chana-Thepha	2.728	1.189	0.125	3.852	10.007
Na Mom-1	0.175	0.309	-	0.433	0.421
Na Mom-2	0.360	0.206	0.009	0.467	0.325
Na Mom-3	0.175	0.450	-	0.545	0.590

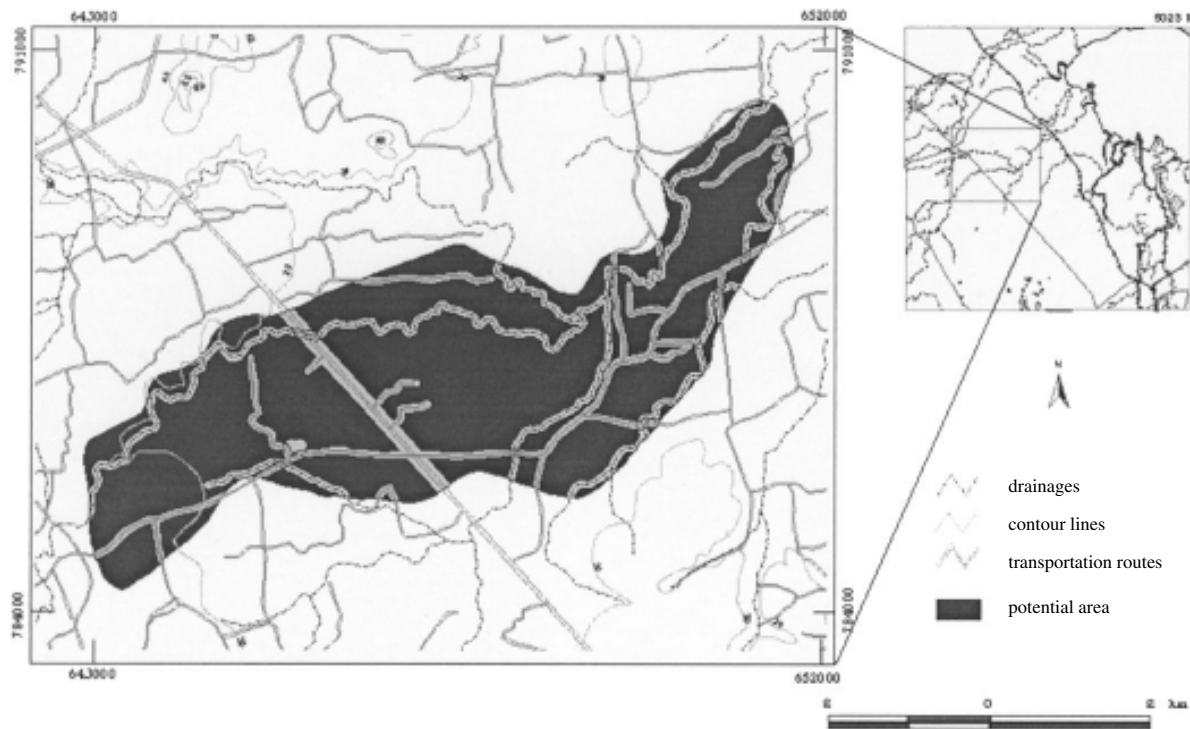


Figure 15. Rattaphum-Khuan Niang potential building sand deposit and buffer zone areas.

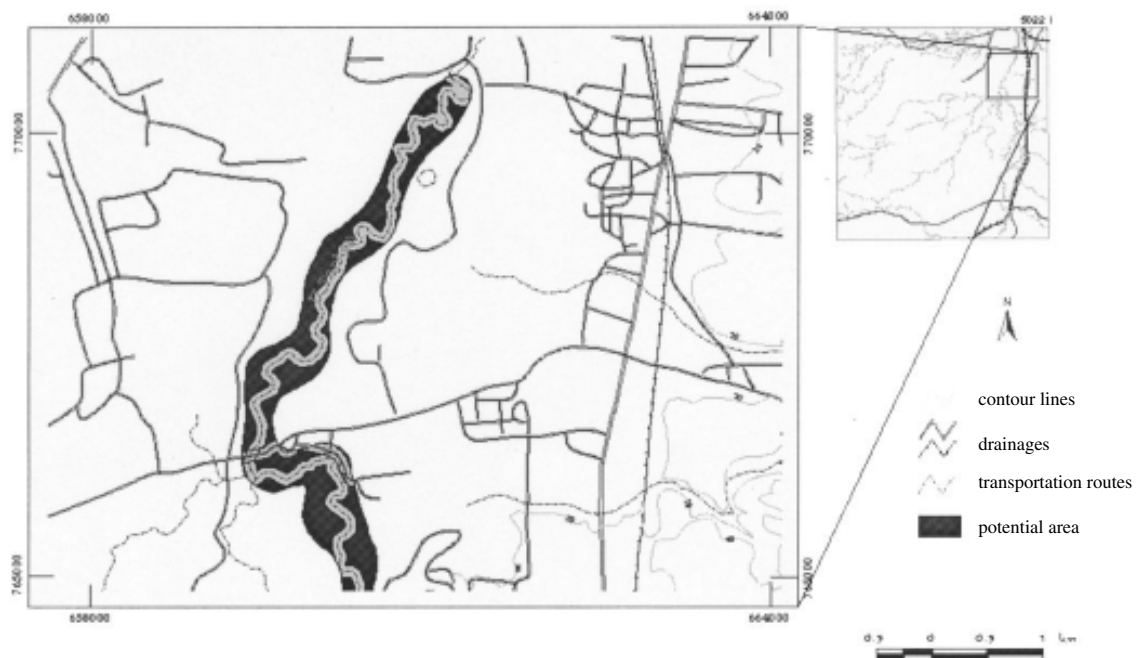


Figure 16. Some U-Taphao potential building sand deposit with buffer zone areas.

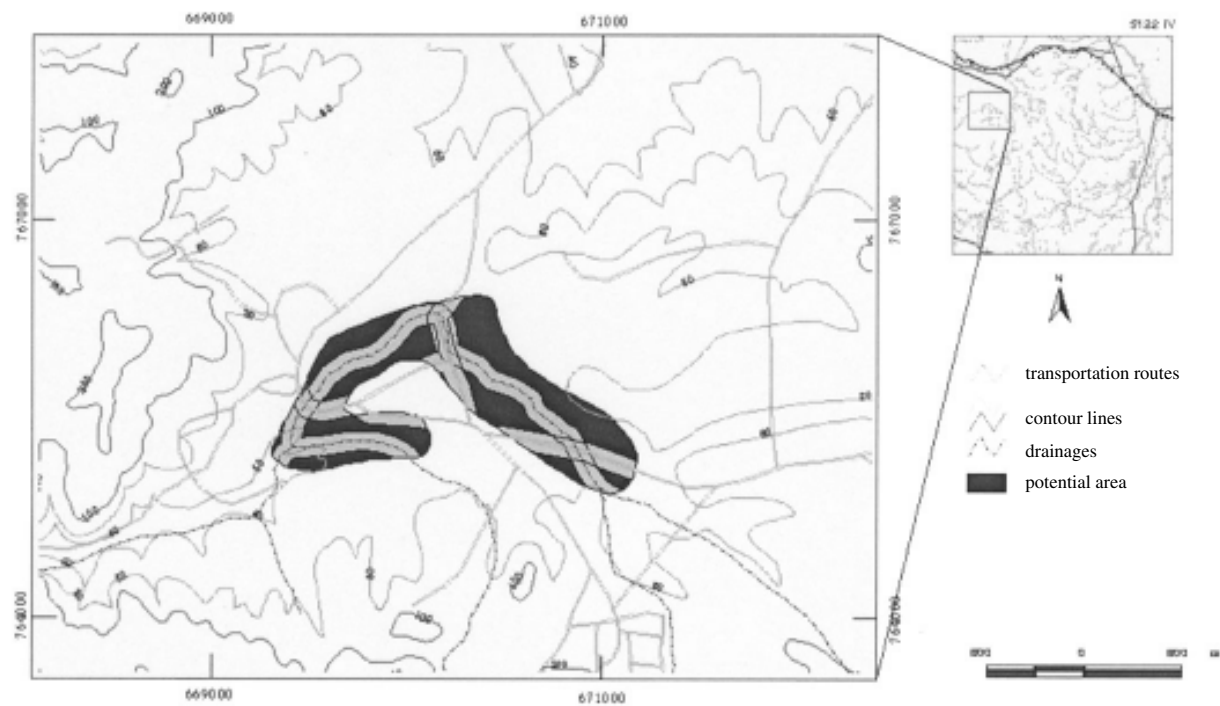


Figure 17. Na Mom potential building sand deposit with buffer zone areas.

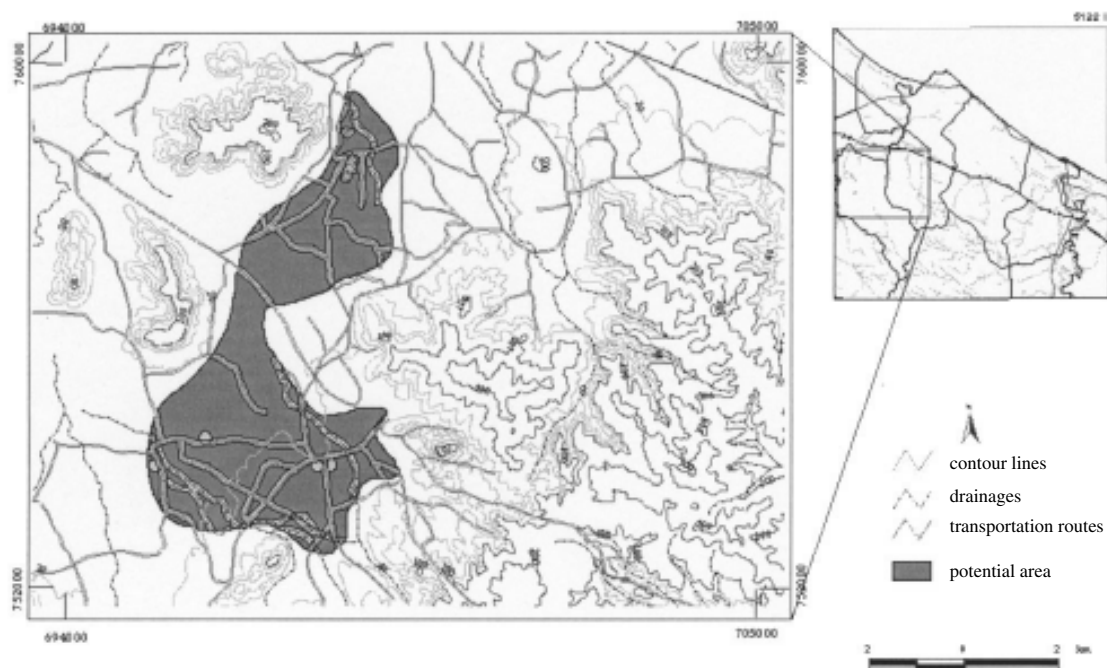


Figure 18. Chana-Thepha potential building sand deposit with buffer zone areas.

แปลผลจากความต้านทานไฟฟ้าในแต่ละจุดสำรวจ สร้างแผนที่ความหนา (Figure 19a) มีชั้นความหนาตั้งแต่ 0-28 เมตร (Table 9) ได้ปริมาณสำรอง 305,713,097 ลบ.เมตร และในส่วนปริมาตรของพื้นที่กันชนได้ใช้ความหนาเฉลี่ย 14.34 เมตร (Table 8) คูณกับพื้นที่กันชน (Table 7) ออกมาได้เป็น 76,373,314 ลบ.เมตร คงเหลือพื้นที่ศักยภาพแหล่งทราย จำนวน 229,332,389 ลบ.เมตร หรือ 605.35 ล้านเมตริกตัน (Table 10)

6.2 เขตคลองอยู่ตะเภา

ลักษณะภูมิสังฐานของแหล่งทรายนี้นค่อนข้างแคบและสะสมไปตามความยาวคลองอยู่ตะเภา กว้างประมาณ 130-520 เมตร ดังนั้นบรรดาจุดสำรวจความลึกจากความต้านทานไฟฟ้าแหล่งนี้ทั้งหมด 13 จุด (Table 3) จึงกระจายไปตามความยาวของคลอง ไม่สามารถสร้างความหนาชั้นทรายในรูปแผนที่ชั้นความหนาที่น่าเชื่อถือได้ ความหนาชั้นทรายที่ความลึกไม่เกิน 50 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 5.7-45.4 เมตร เฉลี่ยความหนา 16.92 เมตร (Table 8) มาคำนวณกับปริมาณพื้นที่ได้จากการประมวลด้วย ArcView ได้แหล่งทรายนี้นี้ทั้งหมด 8,420,843 ตร.เมตร พื้นที่กันชน 3,924,866 ตร.เมตร พื้นที่ทรายคงเหลือ 4,495,977 ตร.เมตร (Table 7) นั้น คือปริมาณสำรองแหล่งทรายที่อนุมาณคงเหลือ 76,071,931 ลบ.เมตร หรือประมาณ 200.83 ล้านเมตริกตัน (Table 10)

6.3 เขตนาหม่อม

ความหนาชั้นทรายที่แปลผลจากความต้านทานไฟฟ้าในแต่ละจุดสำรวจที่มีจำนวนน้อยและพบว่าแหล่ง NM-2 นั้นความหนาไม่เหมาะสมในเชิงพาณิชย์ จึงพิจารณาเฉพาะความหนาเฉลี่ยของแหล่ง NM-1 และ NM-3 ได้ 3.95 และ 5.95 เมตร ตามลำดับ (Table 8) เมื่อคูณกับพื้นที่แหล่งทรายคงเหลือ (Table 7) ก็จะได้เป็นปริมาณสำรองแหล่งทรายอนุมาณของ NM-1 และ NM-3 เป็นปริมาตรประมาณ 1,661,611 และ 5,172,641 ลบ.เมตร หรือประมาณ 4.4 และ 9.3 ล้านเมตริกตัน ตามลำดับ (Table 10)

6.4 เขตจะนะ-เทพา

ครอบคลุมพื้นที่ 13.8 ตร.กม. (Table 7) จากความหนาชั้นทรายที่แปลผลจากความต้านทานไฟฟ้าในจุดสำรวจความลึกไม่เกิน 50 เมตร ทั้งหมด 11 จุด มีความหนาอยู่ในพิสัย 4.6-10.0 เมตร มีความหนาเฉลี่ย 7.34 เมตร (Table 8) แบ่งชั้นความหนาตั้งแต่ 0-9 เมตร (Figure 19b) ผลคำนวณจากแผนที่ความหนา (Table 9) ได้ปริมาณสำรอง 104,361,364 ลบ.เมตร และในส่วนปริมาตรของพื้นที่กันชนได้ใช้ความหนาเฉลี่ยคูณกับพื้นที่กันชน (Table 7) ได้เป็น 28,274,025 ลบ.เมตร ดังนั้นประมาณการปริมาณสำรองศักยภาพแหล่งทรายอนุมาณ

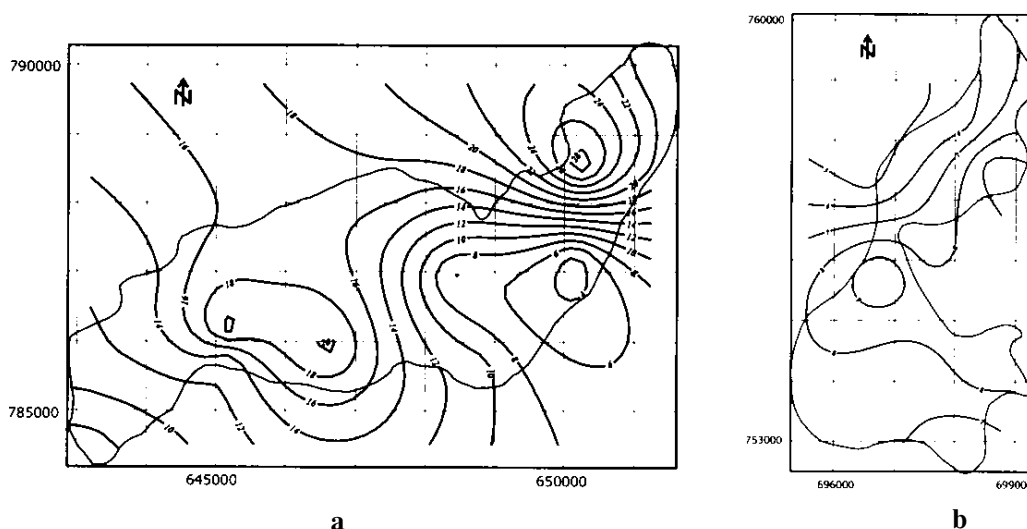


Figure 19. Isopach map of potential building sand deposit area at region of a) Rattaphum-Khuan Niang and b) Chana-Thepha

Table 8. Overview of total thickness of natural sand deposits in Songkhla province

Rattaphum-Khuan Niang		U-Taphao		Na Mom		Chana-Thepha	
Station	Thickness (m)	Station	Thickness (m)	Station	Thickness (m)	Station	Thickness (m)
RP-1	7.2	UT-1	6.8	NM-1	7.3	CH-1	5.5
RP-2	11.4	UT-2	17.08	NM-2	5.1	CH-2	6.6
RP-3	12.5	UT-3	25.0	NM-3	1.9	CH-3	4.6
RP-4	20.7	UT-4	20.2	NM-4	1.5	CH-4	7.6
RP-5	20.6	UT-5	5.7	Ave.	3.95	CH-5	9.5
RP-6	12.9	UT-6	12.0	NM-5	1.0	CH-6	8.5
RP-7	16.1	UT-7	29.1	NM-6	Error	CH-7	7.2
RP-8	16.8	UT-8	15.6	NM-7	1.9	CH-8	7.7
RP-9	5.8	UT-9	45.4	Ave	none	CH-9	7.3
KN-1	10.8	UT-10	10.0	NM-8	-	CH-10	10.0
KN-2	3.0	UT-11	12.3	NM-9	7.4	CH-11	6.2
KN-3	19.1	UT-12	8.6	NM-10	4.5	Ave.	7.34
KN-4	29.5	UT-13	12.3	Ave.	5.95		
Ave.	14.34	Ave.	16.92				

Table 9. Calculated area of total reserves from thickness map at Rattaphum-Khuan Niang and Chana-Thepha regions

Rattaphum-Khuan Niang		Chana-Thepha	
Contour Level (m)	Area (m ²)	Contour Level (m)	Area (m ²)
0	21,023,730	0	13,859,275
2	21,023,730	1	13,859,275
4	21,023,730	2	13,859,275
6	21,023,730	3	13,859,275
8	20,710,022	4	13,859,275
10	18,245,395	5	13,825,129
12	15,781,011	6	12,846,191
14	13,257,714	7	10,231,876
16	9,157,223	8	4,634,208
18	3,260,362	9	914,445
20	2,242,307		
22	1,453,928		
24	897,113		
26	400,266		
28	49,004		

คงเหลือประมาณ 76,087,339 ลบ.เมตร หรือประมาณ
201.63 ล้านเมตรกิตัน (Table 10)

สรุปผลและวิจารณ์

ศักยภาพแหล่งทรายก่อสร้างที่สำคัญของจังหวัด
สงขลา จัดเป็นทรายภาคพื้นทวีปของยุคควอเทอร์นารี พบ

Table 10. Inferred reserves of building sand deposits in various regions of Songkhla province

Region	Inferred resources total (m ³)	Resources in buffer zone (m ³)	Remaining inferred resources m ³	t × 10 ⁶
Rattaphum-Khuan Niang	305,713,097	76,373,314	229,339,783	605.35
U-Taphao	142,480,000	66,408,733	76,071,931	200.83
Na Mom, NM-1	3,372,119	1,443,894	1,661,611	4.40
NM-3	6,753,101	3,247,520	3,511,029	9.30
Chana-Thepha	104,361,364	28,274,025	76,087,339	201.63
Total	1,337,726,156	406,698,253	386,671,693	1021.51

กระจายอยู่ในหลายพื้นที่ ในลักษณะที่ราบตะกอนน้ำพาในทางน้ำโค้งตัวหรือบริเวณรอยทะเลสาบรูปแอก และเนินตะกอนน้ำพารูปพัด หินต้นกำเนิดที่สำคัญ ได้แก่ หินแกรนิตยุคไทรแอสซิก ยุคปลายไทรแอสซิก-จูแรสซิก หินทราย หินกรวดมน ยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน คาร์บอนิเฟอรัส ไทรแอสซิกและเทอร์เชียรี

ถึงแม้ว่าแหล่งทรายชนิดละเอียดเพื่อการก่อสร้าง (คอนกรีต มอร์ตาร์ ปลาสเตอร์) ส่วนมากของพื้นที่สงขลาได้ผลิตอยู่ในเขตรัฐภูมิ-ควนเนียง คลองอู่ตะเภา นาหม่อม และจะนะ-เทพา แต่ก็ยังมีศักยภาพแหล่งทรายก่อสร้างเขตอื่นอีกเช่นกัน เพียงแต่มีบางแหล่งและบางส่วนของปริมาณสำรองทรายเหล่านั้น ที่คุ้มทุนแก่การประกอบการทำเหมืองภายใต้สภาวะเศรษฐกิจปัจจุบันได้เท่านั้น นอกจากนี้ศักยภาพแหล่งที่ไม่ได้พิจารณาในการศึกษานี้คือ แหล่งลานตะพักก่อนกรวด (gravel terrace) แหล่งเศษหินเชิงเขา (colluvial deposit) และตะกอนน้ำหลากจากการกร่อนแบบผิวแผ่น ที่พบอยู่ตามขอบแอ่งหาดใหญ่-นาหม่อม (Figure 9) ก็สามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมหยาบได้ แต่ต้องล้างดินและเศษวัสดุอื่นที่เกาะติดออก

ในแหล่งรัฐภูมิ-ควนเนียง มีศักยภาพของแหล่งทรายเป็นอันดับต้น เนื่องจากการกระจายตัวของแหล่งสะสมค่อนข้างกว้าง ชั้นทรายหยาบอยู่ในระดับที่ตื้นและมีความหนาค่อนข้างมาก นั่นคือ มากกว่า 15 เมตร ส่วนพื้นที่น่าสนใจรองลงมาคือ แหล่งจะนะ-เทพา ที่มีแอ่งสะสมตัวของทรายแผ่กว้างพอสมควร แต่ความหนาของชั้นทรายโดยเฉลี่ยไม่มากนัก โดยทรายสะสมตัวในที่ราบตะกอนน้ำพาและลานหินพัง ส่วนพื้นที่ริมคลองอู่ตะเภา

เป็นบริเวณที่ชั้นตะกอนมีความหนาแน่น แต่ก็มีชั้นหน้าดินเป็นทรายละเอียดค่อนข้างหนา ชั้นทรายหยาบมีน้อย และพื้นที่สะสมตัวของตะกอนแคบ การผลิตทรายในพื้นที่นี้ ปัจจุบันดำเนินการอยู่บริเวณริมตลิ่งของคลองอู่ตะเภา จึงมีผลให้เกิดตะกอนขุ่นขึ้นในลำน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งน้ำดิบที่บ่อน้ำเพื่อการผลิตน้ำประปาของอำเภอหาดใหญ่ สำหรับแหล่งทรายนาหม่อมสะสมตัวในบริเวณแคบ ริมฝั่งทางน้ำมีความหนาแน่นและแผ่กระจายครอบคลุมพื้นที่ไม่มากนัก ซึ่งมีศักยภาพของแหล่งต่ำกว่าแหล่งอื่นทั้งหมด อย่างไรก็ตามแหล่งทรายบางแห่ง เช่น ทรายในทางน้ำโบราณทางตะวันออกของเขตนาหม่อม ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างน้อย ควรเสริมการสำรวจรายละเอียดมากขึ้น เพื่อสามารถกำหนดการแผ่ขยายและความหนาแน่นคง

การแปลรูปถ่ายทางอากาศช่วยให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการสำรวจภาคสนามไปได้มาก อย่างไรก็ตามการใช้หากว่ามีมาตราส่วนขนาดใหญ่ประมาณ 1:10,000 ขึ้นไป ก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแปลได้อีกมากสำหรับความลึกและความหนาของแหล่งทรายที่แปลความจากการสำรวจด้วยเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า พบว่าแยกหินดานกับชั้นทรายและชั้นที่มีพีตได้ชัดเจน แหล่งคลองอู่ตะเภาในบางแห่งมีชั้นทรายได้ถึง 2 ชั้น (Table 4) อย่างไรก็ตามควรตระหนักด้วยว่า ค่าเหล่านี้อาจมีความคลาดเคลื่อนอยู่พอสมควร จากโปรแกรมที่ใช้แปลและระเบียบวิธีโครงสร้างสำรวจ ซึ่งหากต้องการสำรวจชั้นในรายละเอียดเสนอแนะว่าควรใช้วิธี dipole-dipole อันจะได้หน้าตัดการวางตัวของชั้นทรายยาวตลอดแนวสำรวจถึงกระนั้นก็ควรเสริมด้วยการตรวจสอบกับข้อมูลในภาค

สนามอย่างอื่นด้วย เช่น บ่อทรายเก่าหรือหลุมเจาะข้างเคียง หน้าตัดข้างของชั้นดินที่โผล่ หรือหินโผล่ข้างถนน เป็นต้น

ประเด็นการคละขนาดจัดอยู่ในเกณฑ์และใกล้เคียง กับมาตรฐานมวลรวมละเอียดผสมปูนปลาสเตอร์ มอร์ตาร์ และคอนกรีต ซึ่งบางแหล่งในอำเภอรัตภูมิ-ควนเนียง อาจต้องปรับปรุงการคละขนาดที่มีขนาดทรายหยาบหรือละเอียด เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด สำหรับวัสดุขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร (ASTM C 142) และวัสดุอนุภาคที่หุดตัวสูง จนเป็นสาเหตุร่อยราว และสามารถนำไปสู่พังทลายของ โครงสร้างมีอยู่น้อย สำหรับเกลือมีผลต่อการขยายตัวของ คอนกรีต หรือปูนปลาสเตอร์ และคลอไรด์ที่มีผลต่อเหล็ก เสริม (< 0.03%) และรอยขีดเกลือในปูนปลาสเตอร์ ล้วน เชื่อว่ามีปริมาณไม่เกินเกณฑ์กำหนด แต่ถึงหากว่ามีสูงก็ สามารถล้างน้ำหรือผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพอย่าง ง่ายได้ อย่างไรก็ตามหากให้ความมั่นใจควรสุ่มทดสอบ ก่อนนำไปใช้ก็เพิ่มความปลอดภัยไว้ก่อนแก่การทำงาน ส่วน ปริมาณสารอินทรีย์เจือปนในอัตราที่เป็นอันตรายและค่า ความคงตัวของทรายพบในแหล่งนาหม่อม ควนเนียง และ จะนะ ปริมาณซิลิกาในทรายทุกแหล่งไม่เกิน 98.5% จึง เหมาะสมสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยมูม มองภาพรวมปริมาณสำรองแร่สำรวจเบื้องต้น (recon-naissance mineral resource) ทรายก่อสร้างชนิดละเอียด เหล่านี้สามารถนำไปใช้งานได้ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการ ล้างและปรับปรุงมาก

ในการประเมินปริมาณสำรองศักยภาพแหล่งทราย ก่อสร้างที่น่าเชื่อถือได้อย่างสมเหตุสมผลนั้นพื้นที่ศักย-ภาพแหล่งทรายที่ควรตัดทิ้งไป หากพบว่าจุดข้อมูลสำรวจ ชั้นทรายน้อย และรวมถึงแหล่งอยู่ในเขตอนุรักษ์ธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้ปริมาณทรายสำรองจึงค่อนข้างยุ่งยากแก่การ ประเมิน แต่กระนั้นก็พอวิเคราะห์ได้จากภูมิสารสนเทศ ของแหล่งทรายที่มีอยู่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ชั้น ข้อมูลตัวประกอบต่างๆ ที่ได้นำมาพิจารณาแต่ละเขต จึง ทำให้การประเมินแหล่งทรายสำรองอนุมาณอย่างสมเหตุ สมผล ปริมาณสำรองศักยภาพแหล่งทรายของเขตรัตภูมิ-ควนเนียงคิดเป็นประมาณอัตรา 60% ของปริมาณสำรอง อนุมาณทั้งหมดประมาณ 386 ลบ.เมตร หรือประมาณ 1,021 ล้านเมตริกตัน อนึ่งปริมาณสำรองครั้งนี้ไม่ได้คำนึง แหล่งก้อนกรวดลานตะพัก (terrace gravel) ซึ่งสามารถ

ทำเป็นทรายย่อย (crusher sand) รวมถึงแหล่งทรายแก้ว เช่นกัน

งานวิจัยครั้งนี้ได้ยืนยันผลปริมาณสำรองอนุมาณ เป็นส่วนใหญ่หากว่าในบางพื้นที่มีการทำบ่อทรายหนาแน่น เช่น เขตรัตภูมิ มีข้อมูลพอเพียงก็สามารถแสดงปริมาณ สำรองแหล่งทรายคงเหลือได้ถึงระดับชั้นปริมาณสำรองที่ วัดผล (measured mineral resources) หรือปริมาณ สำรองที่ระบุ (indicated mineral resources) ได้เช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ กรมทรัพยากรธรณี ผ่านสำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 1 สงขลา ที่ได้ให้ทุน สนับสนุนในการดำเนินการศึกษาค้นคว้า และขอขอบคุณ บรรดาเจ้าของและคนงานของบ่อทรายทุกแห่ง ที่ได้ อนุญาตให้เข้าไปตรวจจุดทรายที่โผล่และได้ให้ข้อมูลที่มี ประโยชน์เกี่ยวกับทรายแหล่งนั้น ตลอดจนเจ้าหน้าที่กรม ทรัพยากรธรณีเขต 1 ทุกท่านที่ได้ร่วมออกสำรวจภาค สนาม และ ศูนย์รีโมทเซนซิงและระบบสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ภาคใต้ สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ยืมรูปถ่ายทาง อากาศและเอื้ออำนวยความสะดวก และ ผศ.ดร.อำนาจ สิทธิเจริญชัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลขของ แผนที่ภูมิประเทศระวางจังหวัดสงขลา

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี 2538. สัมมนาอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ : สถานการณ์และแนวโน้ม การประชุมทางวิชาการกรม ทรัพยากรธรณี ปี 2538, กรมทรัพยากรธรณี
ชิมชัย เศรษฐพรหมณ์ และ รัตมี สุวรรณวีระกำจร. 2537. ภาพจากดาวเทียมเพื่อการค้นหาและติดตามแหล่งทราย ก่อสร้าง จุลสารดาวเทียม ฉบับที่ 49 หน้า 1-5
دنุพล ดันนโยภาส. 2539. ศิลาบรรณสำหรับวิศวกร พิมพ์ ครั้งที่ 1 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะ วิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน้า 221
دنุพล ดันนโยภาส. 2540. การประกันคุณภาพฐานรากเขื่อน สะเดา การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 3 โรงแรมเจบี อ.หาดใหญ่ 16-18 มค. พ.ศ. 2540

- หน้า GTE 5-1-GTE 5-10.
- دنوفل ตันนโยภาส. 2541. การรับรู้จากระยะไกลเบื้องต้น เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ และโลหวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ หน้า 89-90.
- دنوفل ตันนโยภาส. 2542. หลักการธรณีวิศวกรรม พิมพ์ ครั้งที่ 2 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน้า 211-235
- دنوفล ตันนโยภาส กัลยาณี คุปตานนท์ และ สมชัย ชัยเสน. 2544. ธรณีวิทยาภาพถ่ายและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการสำรวจแหล่งทรายในจังหวัดสงขลา การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ โลหการและปิโตรเลียม ครั้งที่ 6 24-26 ตุลาคม 2544 โรงแรมแมนดาริน กรุงเทพฯ หน้า 1-22 -1-30.
- دنوفล ตันนโยภาส วิวัฒน์ รุ่งเรือง และ อานันต์ คำภีระ. 2540. การสำรวจโครงสร้างและธรณีเทคนิคของแอ่งหาดใหญ่โดยวิเคราะห์ภาพ รายงานการประชุมวิชาการ เรื่อง การประยุกต์ใช้ธรณีฟิสิกส์ในงานสำรวจแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ งานวิศวกรรม และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 1. 31 มี.ค. -1 เม.ย. 2540 โรงแรมรีเจนท์ หาดใหญ่ หน้า 67-79.
- دنوفล ตันนโยภาส พรศิลป์ ผลพันธ์ิน เขาวิน ยงเฉลิมชัย อานันต์ คำภีระ และ สุชาดา ยงสถิตศักดิ์. 2543. การจัดทำระบบข้อมูลสารสนเทศเพื่อการจัดการคุณภาพน้ำบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน้า 18-32.
- รังสิโรจน์ วงศ์พรหมเมฆ และ โชติ ตราชู. 2540. ทรายในทะเลแหล่งทรายสำรองของประเทศในอนาคต เอกสารการสัมมนาเรื่อง การจัดการทรัพยากรทรายของประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี 24 ก.ค. 2540 หน้า 13-31
- สมชาย นาคะผดุงรัตน์ และ สมชัย ชัยเสน. 2529. ชุดแผนที่ธรณีวิทยา ราว 5122 V อำเภอจะนะ (มาตราส่วน 1:50,000) กรมทรัพยากรธรณี (ไม่พิมพ์เผยแพร่)
- สมชาย นาคะผดุงรัตน์ นรรัตน์ บุญกันภัย อภิชาติ จินกุล เสริมศักดิ์ ดิยพันธ์ และนราเมศวร์ วีระรังสิกุล. 2531. ชุดแผนที่ธรณีวิทยา ราว 5122 I อำเภอเทพา (มาตราส่วน 1:50,000) กรมทรัพยากรธรณี (ไม่พิมพ์เผยแพร่)
- สมชัย ชัยเสน. 2540. รายงานการสำรวจธรณีวิทยาเบื้องต้น แหล่งทรายก่อสร้าง สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 1 สงขลา กรมทรัพยากรธรณี หน้า 38-43
- สมชัย ชัยเสน สุนทร เพื่องทอง และ กัมพล มณีประพันธ์. 2539. รายงานสำรวจธรณีวิทยาเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบศักยภาพแหล่งหินประดับ ชนิดหินแกรนิต บริเวณตำบลวังใหญ่ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 1 สงขลา กรมทรัพยากรธรณี 27 หน้า (ไม่พิมพ์เผยแพร่)
- อำเภอ ทองัญญชัย. 2540. แหล่งทรายในจังหวัดภูเก็ตและชุมพร เอกสารการสัมมนาเรื่องการจัดการทรัพยากรทรายของประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี 24 ก.ค. 2540 หน้า 51-67
- ASTM C 33 Standard specification for concrete aggregates, C 33-99.
- ASTM C 40 Standard test method for organic impurities in fine aggregates for concrete, C40-98.
- ASTM C 88 Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate, C88-90.
- ASTM C 128 Standard test method for specific gravity and absorption fine aggregate, C128-97.
- ASTM C 136 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, C136-96.
- ASTM C 142 Standard test method for clay lumps and friable particles in aggregates C142-97
- ASTM C 146 Standard test method for chemical analysis of glass sand, C146 REVA.
- ASTM C 295 Practice for petrographic examination of aggregates for concrete, C295-79.
- ASTM C 702 Standard practice for reducing samples of aggregates testing size, C702-93.
- ASTM C 1218 Standard test method for water-soluble chloride in mortar and concrete, C 1218M-99
- Campbell K.V. 1978. Air photo interpretation laboratory manual, AIT., pp. 108-115.
- Collis L. and Fox R.A. 1985. Aggregates-sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes, Geol. Soc. Eng. Geol. Spec. Publ 1, 220 p.
- ESRI 1998. Introduction to ArcView GIS, Version 3.1
- SABS 1083 Standard specification for aggregates from natural sources. Report of Council of the South African Bureau of Standards, SABS 1083-1976, Pretoria, 37 p.
- SABS 1090 Standard specification for sand for plaster and mortar. Report of Council of the South African Bureau of Standards, SABS 1090-1976, Pretoria, 17 p.