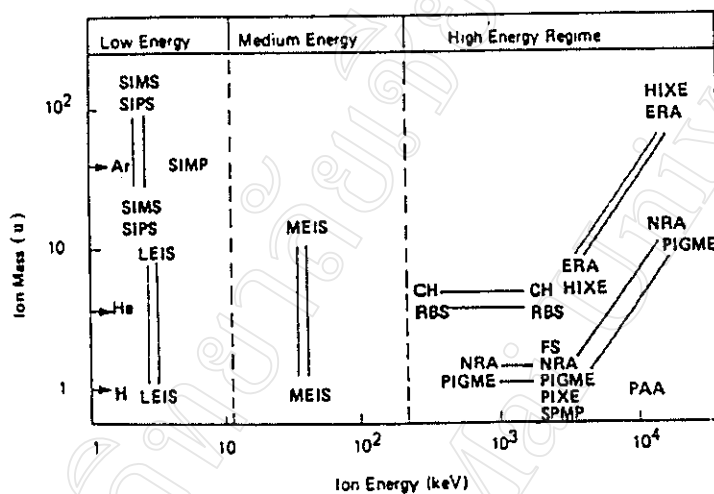


บทที่ 1

บทนำ

การวิเคราะห์วัสดุทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ (Ion Beam Material Analysis , IBMA) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีอยู่ด้วยกันหลายวิธีการ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 1.1 [Bird and Williams,1989]



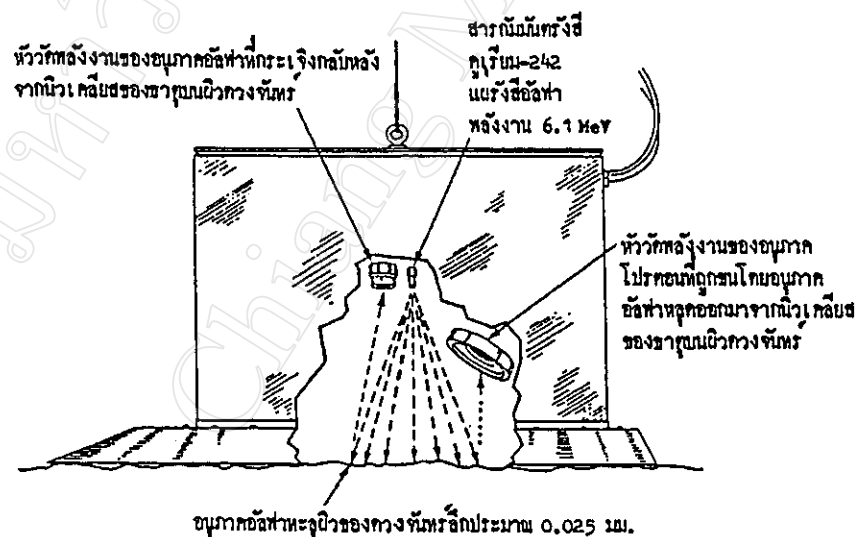
รูปที่ 1.1 แสดงวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุสำหรับกระสุน(อนุภาคหรือไอออน) หลายชนิดที่ระดับพลังงานเริ่มต้นต่าง ๆ

จากรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่า ที่พลังงานเริ่มต้นของกระสุน (เช่น ออกซิเจน ,อาร์กอน ,ซีเซียม และอื่น ๆ ที่มีมวลมากกว่า 10 u) น้อยกว่า 10 keV นั้น วิธีการที่นิยมใช้กันมาก คือ Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS), Scanning Ion Micro-Probe (SIMP) ส่วนกรณีที่พลังงานเริ่มต้นของกระสุนมีค่าตั้งแต่ 10 keV-100 keV นั้นวิธีการที่มีบทบาทมากคือ Medium Energy Ion Scattering(MEIS) แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้มากเท่ากับวิธีการอื่นๆ และที่พลังงานเริ่มต้นมากกว่า 100 keV ของกระสุนที่มีมวลน้อยกว่า 4 u นั้นวิธีการที่นิยมใช้ก็คือ Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS), Channeling (CH), Forward Scattering (FS), Nuclear Reaction Analysis (NRA),

Scanning Proton Micro-Probe (SPMP), Particle Induced X-ray Emission (PIXE), Particle Induced Gamma-ray Emission (PIGME) และ Heavy ion Induced X-ray Emission (HIIXE) และมีบางกรณีที่ต้องใช้กระสุนมวลหนักมาก (มากกว่า 10 u) เช่น Elastic Recoil Analysis (ERA) และ HIIXE เป็นต้น

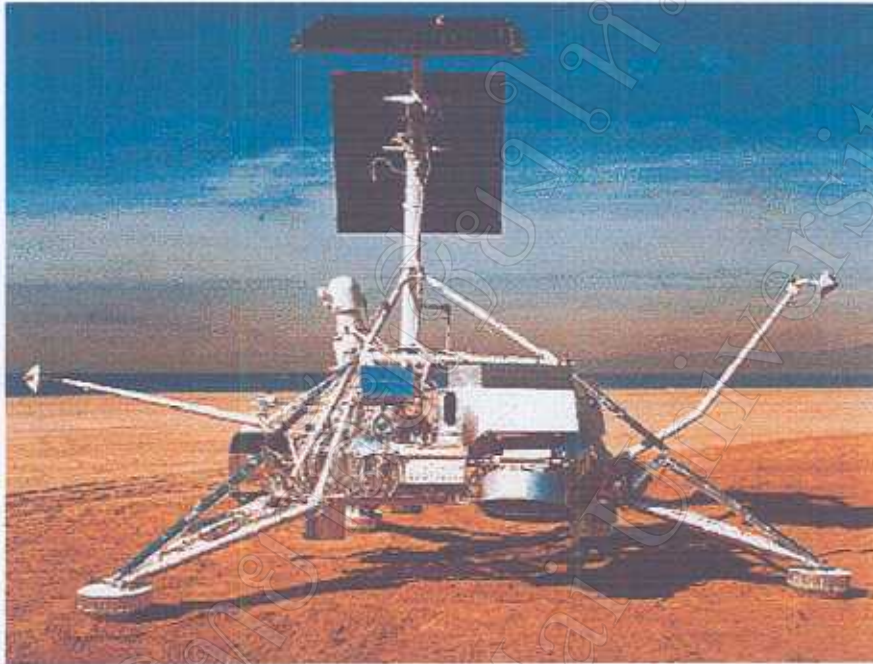
โดยทั้งหมดนี้ RBS เป็นเทคนิคมาตรฐานที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการวิเคราะห์เชิงผิวของวัสดุเนื่องจากเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่เร็วและไม่ยุ่งยากแต่มีความเที่ยงตรงสูง ไม่ทำลายผิววัสดุ และสามารถนำไปใช้ประยุกต์หา ชนิด ปริมาณและความหนาของแผ่นฟิล์มบางที่เคลือบอยู่บนผิววัสดุได้ รวมไปถึงการหาการกระจายตัวของสารเจือปนในเชิงความลึก (depth profile) นอกจากนี้ยังกล่าวได้ว่าเทคนิค RBS เป็นวิธีการวิเคราะห์ในทำนองนี้ที่เกิดก่อนวิธีการอื่นๆใด กล่าวคือนับตั้งแต่การทดลองของ H. Geiger และ E. Marsden ในปี 1909 ที่ E. Rutherford สามารถอธิบายเชิงทฤษฎีได้ ในปี 1911 ซึ่งนำไปสู่การค้นพบนิวเคลียส ต่อจากนั้นในปี 1912 Stark และ Wendt ได้เสนอว่าวิธีการของ Geiger และ Marsden สามารถใช้ศึกษา ion channeling ในผลึกเดี่ยวได้ แล้วมีการพัฒนาแนวคิดนี้ขึ้นมาใช้จนถึงปัจจุบันนี้

ตัวอย่างหนึ่งที่ได้ชัดเจนของการนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงผิว ก็คือ การตรวจวัดธาตุองค์ประกอบของดินบนดวงจันทร์ (ยกเว้นธาตุไฮโดรเจน, ฮีเลียมและลิเทียม) โดยใช้การกระเจิงของอนุภาคอัลฟาที่ผิวของดวงจันทร์ ด้วยเครื่องมือดังรูปที่ 1.2 [Chu et al., 1978]



รูปที่ 1.2 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ดินบนดวงจันทร์โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีอัลฟา 6 ตัว ฉายรังสีอัลฟาลงบนผิวดวงจันทร์กินบริเวณ 78 ตร.ซม ส่วนหัววัดอนุภาคอัลฟามี 2 ตัว ขณะที่หัววัดอนุภาคโปรตอนมี 4 ตัว

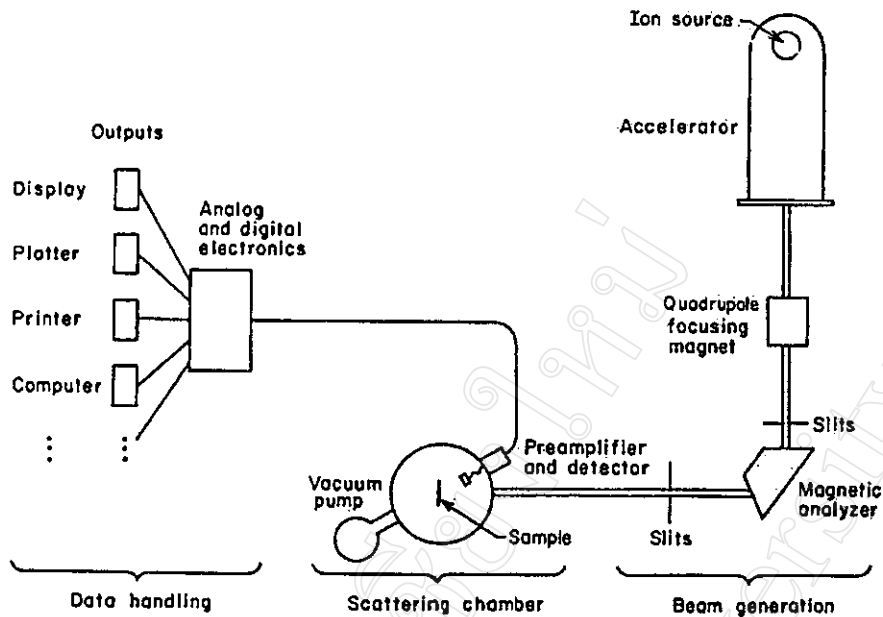
เครื่องมือนี้ได้ถูกส่งขึ้นไปกับยานสำรวจ Surveyor 5 ที่ขึ้นไปสำรวจผิวดวงจันทร์ เมื่อวันที่ 9 กันยายน 2510 โดยยานสำรวจนี้มีลักษณะดังรูปที่ 1.3 ผลการสำรวจครั้งนั้นสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการวิเคราะห์เชิงเคมี ในภายหลังกับผิวดวงจันทร์ที่นำกลับมาโลกโดยโครงการอพอลโล



รูปที่ 1.3 ภาพของยานสำรวจ Surveyor 5 ที่ขึ้นไปสำรวจผิวดวงจันทร์ในปี 1967*

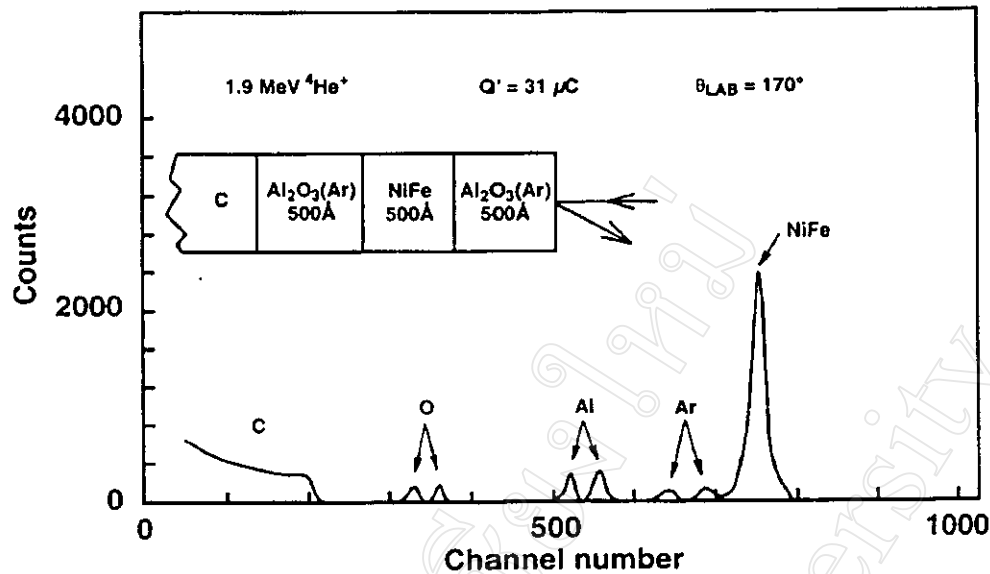
เทคนิค RBS ที่ใช้กันในปัจจุบันนี้โดยทั่วไปจะมีลักษณะดังรูปที่ 1.4 ซึ่งกระสุนที่ใช้มักจะเป็น อนุภาคฮีเลียม (${}^4\text{He}^+$) พลังงานอยู่ในเรอ 0.5 -2 MeV เคลื่อนไปยังเป้าด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในเรอ มิลลิเมตร และกระแสนอยู่ในเรอของนาโนแอมแปร์ในสภาพสุญญากาศที่มีความดันประมาณ 10^{-5} - 10^{-6} mbar เมื่อเกิดอันตรกิริยากับเป้าแล้วจะมีอนุภาคฮีเลียมส่วนหนึ่งกระเจอย้อนกลับไปยังหัววัด silicon surface barrier (SSB) ที่มุม θ ($90^\circ < \theta < 180^\circ$) นับจากแนวการเคลื่อนที่เดิม ซึ่งหัววัด SSB นี้ มักนิยมใช้กันเพราะมีขนาดเล็กใช้ง่าย มีค่า energy resolution ที่ดีคือประมาณ 15 keV และมี intrinsic noise ต่ำเมื่อเทียบกับพลังงานของกระสุนในเรอ MeV โดยไม่ จำเป็นต้องหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลว

* [rpif.jpl.nasa.gov/locb_mission.asp?surveyor]



รูปที่ 1.4 แสดงรูปแบบมาตรฐานของเทคนิค RBS ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยเครื่องเร่งอนุภาคอย่างน้อยต้องเป็นเครื่องเร่ง Van de Graaff ส่วน scattering chamber มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ฟุต [Chu et al., 1978]

จากรูปแบบการทดลองในทำนองเดียวกับรูปที่ 1.4 นี้ ถ้าใช้อนุภาคอัลฟาพลังงาน 1.9 MeV เคลื่อนไปชนกับวัสดุตัวอย่างที่ประกอบด้วยชั้นของ Al_2O_3 เป็นชั้นแรก ถัดไปเป็นชั้นของ NiFe และชั้นของ $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Ar})$ เคลือบอยู่บนแผ่นคาร์บอนที่เป็น substrate โดยแต่ละชั้นนั้นหนาเท่ากับ 500 อังสตรอม ซึ่งหลังเกิดปฏิกิริยาแล้วจะมีอนุภาคอัลฟากระเจิงย้อนกลับมาเข้ายังหัววัด SSB ที่มีมุม 170 องศา ระบบการทดลองแบบนี้จะทำให้ได้สเปกตรัมเชิงพลังงานดังรูปที่ 1.5 [Leavitt et al., 1995]

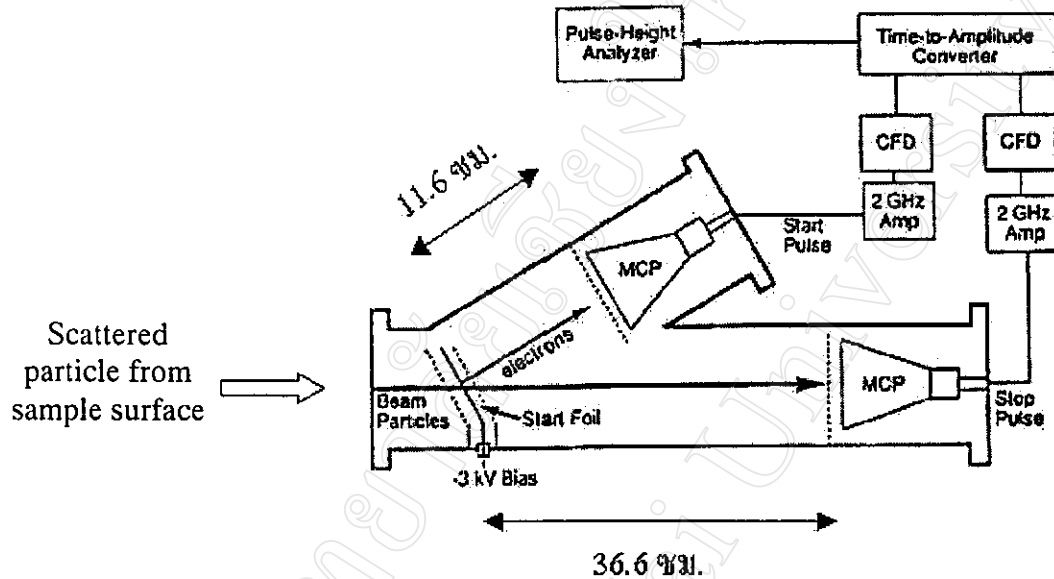


รูปที่ 1.5 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมเชิงพลังงานของอนุภาคอัลฟาที่กระเจิงย้อนกลับหลังจากชนกับวัสดุตัวอย่างที่ประกอบด้วย Al_2O_3 (Ar), NiFe และ Al_2O_3 (Ar) เคลือบอยู่บนคาร์บอนที่เป็น substrate

จากรูปที่ 1.5 นั้นจะพบว่า สเปกตรัมเชิงพลังงานของอนุภาคอัลฟาที่กระเจิงย้อนกลับ หลังจากชนกับนิวเคลียสของธาตุออกซิเจน (O), อาร์กอน (Ar) และอลูมิเนียม (Al) ที่ประกอบอยู่ในชั้นของ Al_2O_3 (Ar) ทั้งสองจะมี 2 peak เนื่องจากพลังงานที่กระเจิงย้อนกลับของอนุภาคอัลฟาหลังจากชนกับนิวเคลียสของธาตุ Al, Ar และ O ที่อยู่คนละชั้นจะมีค่าแตกต่างกัน โดยที่พลังงานที่กระเจิงย้อนกลับของอนุภาคอัลฟาหลังจากชนกับนิวเคลียสของธาตุชนิดเดียวกันที่บริเวณผิวนั้นนั้นจะมีค่ามากกว่าที่บริเวณที่ลึกเข้าไปในวัสดุตัวอย่าง แต่สำหรับสเปกตรัมของอนุภาคอัลฟาที่กระเจิงย้อนกลับ หลังจากชนกับนิวเคลียสของธาตุนิกเกิล (Ni) และเหล็ก (Fe) นั้นไม่สามารถแยกออกจากกันได้ เนื่องจากระบบ RBS นี้มีค่า mass resolution ที่น้อยกว่าค่าความแตกต่างระหว่างมวลของนิกเกิลและเหล็กซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อ 2.2

ต่อมาได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มที่ให้ความสนใจกับเทคนิค RBS นี้ แต่คิดที่จะนำกระสุนที่มีพลังงานในเรือน keV มาใช้ เนื่องจากว่าค่า cross-section ที่พลังงานต่ำจะมีค่าสูงกว่า แต่ไม่สามารถใช้หัววัด SSB เหมือนเดิมได้เพราะ intrinsic noise ของหัววัดเอง จึงจำเป็นต้องนำวิธีการ time-of-flight (TOF) มาประยุกต์ใช้วัดพลังงานของอนุภาคที่กระเจิงกลับหลัง ดังเช่น งานวิจัยของ Mendenhall และ Weller [1989,1990] ได้ใช้เทคนิค TOF-RBS ในการวิเคราะห์เชิงผิว ของวัสดุตัวอย่างที่พลังงาน 100-500 keV โดยกระสุนเป็นไอออนหลายชนิด แต่เป็นลำไอออน ที่ต่อเนื่อง

ดังนั้นเทคนิค TOF-RBS นี้ จึงสร้างสัญญาณ start และ stop จาก อิเล็กตรอนทุติยภูมิที่เกิดจากแผ่นคาร์บอนบางๆ ไปยัง microchannel plate (MCP) ตัวที่ 1 ที่วางห่างประมาณ 11.6 ซม. ดังรูปที่ 1.6 และสัญญาณอ้างอิงอีกสัญญาณคือ ไอออนที่ทะลุต่อไปยังหัววัด MCP ตัวที่ 2 ที่วางห่างแผ่นคาร์บอนบางๆ นี้ประมาณ 36.6 ซม. ตามลำดับ ซึ่งพลังงานของอนุภาคที่กระเจิงจากเป้าหมายได้จากช่วงเวลาห่างระหว่างสัญญาณจาก MCP ตัวที่ 1 กับ MCP ตัวที่ 2



รูปที่ 1.6 แสดงรูปแบบการทดลองของ Mendenhall และ Weller [1990]

พบว่าเทคนิคนี้สามารถให้อำนาจการจำแนกเชิงความลึก (depth resolution) ที่ดีและยังพบอีกว่า ระบบที่ใช้กระสุนมวลหนักจะให้อำนาจการจำแนกเชิงมวล (mass resolution) และอำนาจการจำแนกเชิงพลังงาน (energy resolution) ที่ดีกว่าเมื่อใช้กระสุนมวลเบา

ในส่วนของประเทศไทยยังไม่เคยมีการนำเอาเทคนิค RBS มาใช้เลย ทั้งๆที่มีการค้นคว้าวิจัยทางด้านฟิล์มบาง เซมิคอนดักเตอร์ และวัสดุศาสตร์อยู่หลายแห่ง จึงน่าจะเป็นการดีที่จะริเริ่มให้มีการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคนี้อย่างจริงจังในประเทศไทย แต่ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีแต่เครื่องเร่งอนุภาคคิวทิลอนแบบห้วง พลังงานสูงสุดเพียง 150 keV เท่านั้น เทคนิค RBS ที่จะทำการพัฒนาขึ้นมาจึงจำเป็นต้องอาศัยเทคนิค TOF เช่นกัน แต่จะแตกต่างกับวิธีการของ Mendenhall และ Weller อยู่บ้าง ที่เห็นได้อย่างชัดเจนก็คือ ไม่มีการใช้แผ่นคาร์บอนที่ขอบบางมากในกรณีนี้ Miyamaru (2000) ได้เคยทดลองใช้วิธีการนี้เช่นกันที่ห้องปฏิบัติการ OKTAVIAN แห่งมหาวิทยาลัยโอซาก้า

ประเทศญี่ปุ่น แต่กระสุนเป็นอนุภาคคิวทิลอนพลังงาน 250 keV ที่มีความกว้างของหัวประมาณ 2 ns ซึ่งได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวิธีการนี้ที่น่าสนใจ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาระบบของวิธีการนี้ในขั้นเริ่มแรกขึ้นมาเองที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อที่จะได้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาในระดับต่อไป เช่น เกี่ยวกับ scattering chamber การทำงานของหัววัด MCP ลักษณะของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสม การวิเคราะห์ข้อมูล และ soft ware ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ช่วยเสริมการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นต้น