ว2ส91ก
ส3

การพัฒนาเทคนิคและวิธีการของฟิชชั่นแทรคเดทติ้ง เพื่อใช้ในการกำหนดอายุของวัตถุโบราณที่เป็นแก้วบางชนิด

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุคนธ์ มากสันทร์

-1 ก.พ. 2526
สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 พระโขนง กรุงเทพฯ 11 โทร. 3921575, 3915058

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

กันยายน 2524

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

150492

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิต และคณะกรรมการสอบ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

•

คณะกรรมการที่ปรึกษา

ประธาน

กรรมการ

คณะกรรมการสอบ

ประธาน

กรรมการ

กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือ และการแนะนำอย่างดียิ่งจาก อาจารย์ มานิตย์ ซ้อนสุข อาจารย์ สินดารมย์ ชวเจริญพันธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมเกียรติ กรีทอง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ คุณจารุณี เชี่ยงเห็น คุณสิรินาฏ ม่วงน้อยเจริญ คุณเยาวลักษณ์ การพานิช คุณสุรวิศ แซ่จิ้น และ คุณวิไลวรรณ เยาวนโยธิน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์แย นนทแก้ว และขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของ บิดา มารดา และพี่ ๆ ที่ได้ให้การสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุคนธ์ มากจันทร์

สารบาญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	4
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	4
	ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ	5
2	ประวัติ ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	7
	ประวัติ	7
	ทฤษฎี	8
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	17
3	วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	26
	ตัวอย่าง	26
	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	26
	ขั้นตอนในการวิจัย	26
	วิธีดำเนินการทดลอง	27
4	ผลการวิจัย	30
5	บทย่อ สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ	39
	บทย่อ	39
	สรุปผลการวิจัย	40

บทที่ หน้า

ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการวิจัย 41

อภิปรายผลการวิจัย 41

ข้อเสนอแนะ 42

บรรณานุกรม 43

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงชนิดของแร่และหินที่สามารถกำหนดอายุได้โดยวิธีการนับรอยที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสี	3
2	ชนิดของโบราณวัตถุและอายุที่กำหนดโดยเทคนิคการนับรอยที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสี (Fission Track Technique)	8
3	แสดงการกำหนดอายุโดยฟิชชั่นแทรคเดทติ้งกับโปตัสเซียม-อาร์กอนเดทติ้งของไฟลซ์โซอร์และไพรซ์	18
4	แสดงการกำหนดอายุโดยเทคนิคฟิชชั่นแทรคของวัตทานาเบและซูซูกิ	19
5	แสดงการกำหนดอายุโดยเทคนิคฟิชชั่นแทรคของตัวราฉีและคนอื่น ๆ	21
6	แสดงการกำหนดอายุโดยเทคนิคฟิชชั่นแทรคของนิชิมูรา	23
7	แสดงการกำหนดอายุโดยเทคนิคฟิชชั่นแทรคของปิกเกอิและโบนาตอนนา	24
8	แสดงสถานะต่าง ๆ ของการกัดผิว	28
9	แสดงเวลาที่ใช้ในการกัดผิวตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุในกรดไฮโดรฟลูออริคที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	30
10	แสดงจำนวนรอยในตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุก่อนอาบรังสี	31
11	แสดงจำนวนรอยในตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุหลังอาบรังสี	32
12	แสดงเวลาที่ใช้ในการกัดผิวตัวอย่างแก้วในกรดไฮโดรฟลูออริคที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	33
13	แสดงจำนวนรอยในตัวอย่างแก้วก่อนอาบรังสี	34
14	แสดงจำนวนรอยในตัวอย่างแก้วหลังอาบรังสี	35
15	แสดงอายุของตัวอย่างแก้วที่กำหนดโดยวิธีฟิชชั่นแทรคเดทติ้ง	36
16	สรุปผลการวิจัย	40

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1 แสดงการเกิดรอยโดยใช้แบบ ION EPLOSION SPIKE 11

2 ลักษณะของผิวแก้วหลังจากฝนด้วยผงขัด 37

3 ลักษณะของผิวแก้วหลังอบจนรอยลบ 37

4 ลักษณะของรอยในแก้วมาตรฐานหลังอาบรังสีกัดผิวใน 48% HF 20 วินาที 38

5 ลักษณะของรอยในแก้วตัวอย่างหลังอาบรังสีกัดผิวใน 48% HF 30 วินาที 38

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ตามโครงการขุดค้นชากโบราณในภาคต่าง ๆ ของกรมศิลปากรและคณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร เพื่อศึกษาวัฒนธรรม ความเป็นอยู่ของมนุษย์ในสมัยโบราณ และเพื่อค้นหาแหล่งประวัติศาสตร์ โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ได้มีการสำรวจแหล่งโบราณคดีก่อนประวัติศาสตร์หลายแห่ง และจากการศึกษาร่องรอยของเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่ขุดพบที่บ้านนาดี อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น ทำให้นักโบราณคดีทราบว่า คนในสมัยก่อนประวัติศาสตร์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รู้จักทำสำริดขึ้นใช้เป็นเวลา 6,000 ปีมาแล้ว ซึ่งนับได้ว่าเป็นแหล่งเก่าแก่ที่สุดแห่งหนึ่งของโลก (ศรีศักร วัลลิโภดม 2521 : 57) นอกจากนี้ยังมีการขุดค้นพบเครื่องปั้นดินเผาประเภทหม้อลายเชียนสีต่าง ๆ ที่บ้านเชียง อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี และเมื่อนำมาหาอายุโดยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซ่น (Thermoluminescence) พบว่าหม้อเหล่านี้มีอายุ 6,000 - 9,000 ปี นอกจากเครื่องปั้นดินเผาแล้วยังมีการขุดค้นพบกระดูกในสมัยโบราณ ซึ่ง ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ ได้นำมากำหนดอายุโดยวิธีคาร์บอน-14 พบว่ามีอายุประมาณ 3,020 ± 157 ปีก่อนพุทธศักราช (ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ 2519 : 1 - 60) วัตถุโบราณที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่ขุดพบที่บ้านเชียง คือ วัตถุที่ทำด้วยแก้ว เช่น ลูกปัด ซึ่งยังเป็นปัญหาว่าแก้วเหล่านี้มาจากไหน ทำขึ้นเองที่บ้านเชียงหรือไม่ เป็นสิ่งที่ยังไม่มีหลักฐานยืนยันได้

จะเห็นว่าเมื่อนักโบราณคดีขุดพบชากโบราณชนิดต่าง ๆ ขึ้นมาได้ สิ่งที่นักโบราณคดีต้องการทราบคือ อายุของชากโบราณ ซึ่งวิธีที่ทำอยู่ทั่ว ๆ ไปคือ การกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบของศิลปที่ปรากฏอยู่กับชากโบราณ เช่น พวกหม้อลายเชียนสีต่าง ๆ ดูได้จากลักษณะลวดลาย ซึ่งเป็นที่นิยมกันในแต่ละสมัย เครื่องเคลือบที่มีสีเขียวอมุ่น ลายขาว รูปร่างเป็นแจกัน ผอบ สังข์ และหม้อบลาสีมักสร้างขึ้นในสมัยสุโขทัย และมีอายุตั้งแต่ พ.ศ. 15 - 19 (ศรีศักร วัลลิโภดม 2518 : 34 - 38) ส่วนโบราณวัตถุที่ไม่ปรากฏลวดลาย ลักษณะเด่นชัดพอจะกำหนดอายุโดยหลักฐาน

ทางด้านประวัติศาสตร์ได้ยาก สำหรับการใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะวิธีทางนิวเคลียร์ ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ผลค่อนข้างแน่นอนและเที่ยงตรง (เทวัญ เกษมศิริ 2521 : 16) ในการกำหนดอายุนั้น ในประเทศไทยทำน้อยมาก ที่ทำกันอยู่ในปัจจุบันนี้คือ การกำหนดอายุโดยวิธีคาร์บอน-14 ซึ่งจะใช้ได้กับวัตถุโบราณที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น โครงกระดูก และเครื่องมือเครื่องใช้ที่ทำจากไม้เท่านั้น (ดาราภานต์ ชำนิโรคสานต์ 2512 : 24) นอกจากนี้การกำหนดอายุโดยวิธีนี้ จะเชื่อถือได้เมื่อซากโบราณมีอายุไม่เกิน 30,000 ปี ถ้าอายุมากกว่านี้พบว่าความเที่ยงตรงจะลดลง (Macdougall. 1976 : 118)

วิธีการกำหนดอายุที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่งคือ การกำหนดอายุโดยนับรอยที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสีที่ปรากฏอยู่บนวัตถุโบราณ (fission track) เป็นวิธีที่ใช้ในการกำหนดอายุของซากโบราณได้อย่างกว้างขวาง เช่น เครื่องปั้นดินเผา เครื่องแก้ว โครงกระดูก หิน แร่ชนิดต่าง ๆ โดยดูจากรอย (track) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแตกตัวโดยตนเอง (spontaneous fission) ของยูเรเนียม ซึ่งโดยปกติยูเรเนียมจะอยู่ในรูปของสารไม่บริสุทธิ์ (impurities) ในแร่ หิน และแก้ว โดยเฉพาะแก้วในสมัยโบราณ ทั้งแก้วที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ และแก้วที่มนุษย์ทำขึ้นมักจะมียูเรเนียมอยู่ (Fleischer and Price. 1964a : 842) ถึงแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถนำมาศึกษาได้ ไฟลช์เชอร์ และ ไพรซ์ ได้รวบรวมแร่หินชนิดต่าง ๆ ที่สามารถกำหนดอายุโดยการนับรอยที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสี ไว้ดังตาราง 1 (Fleischer and Price. 1974 : 19)

ตาราง 1 แสดงชนิดของแร่และหินที่สามารถกำหนดอายุได้โดยวิธีการนับรอยที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสี

ผลึกแร่	หิน	แร่อสัณฐาน
Allanite	Adamellite	Amber
Anthophillite	Andesite	Glasses
Apatite	Ash	Archaeological
Bastnasite	Basalt	Basaltic
Calcite	Calcitic	Impact
Epidote	Carbonatite	Man-made
Garnet	Clay	Obsidian
Hornblende	Diatremes	Shards
Micas	Diorite	
Monazite	Gabbro	
Quartz	Gneiss	
Sphene	Granite	
Stibiotantalite	Iron Ore.	
Tanzanite	Kimberlite	
Topaz	Manganese crust	
Zircon	Syenite	
	Tuff	

นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังมีแหล่งโบราณคดีอีกหลายแห่งที่ได้ทำการขุดค้นวัตถุโบราณขึ้นมา แต่มีผู้สนใจในการกำหนดอายุน้อยมาก แม้แต่กองโบราณคดีเองก็ยังต้องส่งตัวอย่างบางชนิดไปกำหนดอายุที่ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นการเสียเวลา และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

ดังนั้น ถ้าหากได้ทำการศึกษาวิธีการกำหนดอายุโดยการนับรอยที่เกิดขึ้น แล้วนำเอาเทคนิคที่ได้พัฒนาให้เหมาะสมกับสภาพตัวอย่างแต่ละชนิด มาใช้กับวัตถุโบราณที่ขุดพบในประเทศไทยก็จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องอย่างมาก และลดค่าใช้จ่ายในการศึกษาทางด้านอายุของวัตถุโบราณลงไปได้มาก

<u>ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า</u>

1. ศึกษาวิธีการและเทคนิคการนับรอยที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสี เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดอายุตัวอย่างวัตถุโบราณที่เป็นแก้วบางชนิด

2. นำเอาเทคนิคที่ได้ศึกษามาประยุกต์ ใช้กับวัตถุโบราณที่เป็นแก้วบางชนิด

<u>ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า</u>

1. ก่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจเทคนิคการขยายขนาดของรอย การอ่านรอยและการนับรอย ในตัวอย่างแก้ว

2. เป็นแนวทางที่จะนำไปพัฒนาการกำหนดอายุทางด้านธรณีโครงสร้าง

3. เป็นแนวทางที่จะนำไปใช้กำหนดอายุของวัตถุโบราณชนิดอื่น ๆ ในทางโบราณคดี

4. ลดค่าใช้จ่ายในการศึกษาโบราณคดีของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

<u>ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า</u>

ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดขอบเขตออกเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. จะกำหนดเฉพาะอายุของวัตถุโบราณประเภทแก้วจากพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติเท่านั้น

2. จะศึกษาเฉพาะการพัฒนาเทคนิคในการเพิ่มขนาดของรอย การอ่านรอย และการนับรอย ในตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุโดยแน่นอนแล้ว

นิยามศัพท์เฉพาะ

รอย (track) คือ ช่องว่างที่เกิดจากยื่นส่วนที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสี จะเรียกทับศัพท์ว่า ฟิชชั่นแฟรกเมนต์ (Fission fragment) วิ่งเข้าชนของแข็งที่เป็นเป้า ในเป้าที่เป็นผลึกจะมองเห็นเป็นเส้นตรง เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และจะมองเห็นเป็นรูปกรวย เมื่อนำไปกัดผิวในสารเคมีที่เหมาะสมแล้วดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน หรือกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา ส่วนในกรณีที่เป้าเป็นแก้ว สามารถมองเห็นช่องว่าง (เป็นรูปกรวย) ได้ เมื่อนำไปกัดผิวในสารเคมีที่เหมาะสมแล้วเท่านั้น และรอยเหล่านี้จะสลายหายไปเมื่อของแข็งที่เป็นเป้าได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง เรียกว่า แทรคแฟดดิ้ง (Track fading)

การกัดผิว (etching) คือ การนำตัวอย่างที่ฝนจนผิวหน้าเรียบและบางพอที่จะมองเห็นรอยได้ ไปแช่ในสารเคมีเพื่อขยายขนาดของรอยให้สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเคมี เวลาที่ใช้ในการแช่และอุณหภูมิ

ฟิชชั่นแฟรกเมนต์ คือ อนุภาคซึ่งมีประจุบวกที่ได้จากการแตกตัวของยูเรเนียมโดยปฏิกริยาฟิชชั่น โดยยูเรเนียมแตกตัวหนึ่งครั้งจะให้สองอนุภาค (มีน้อยมากที่เกิด 3 อนุภาค) ที่มีมวลใกล้เคียงกันมาก ทั้งสองอนุภาคต่างก็มีประจุบวกจะวิ่งออกจากกันด้วยความเร็วสูง และจะรับอิเล็กตรอน จากอะตอมที่วิ่งเข้าชนเป็นอะตอมที่มีสภาพเป็นกลางอยู่ในของแข็ง ตัวอย่างของฟิชชั่นแฟรกเมนต์ คือ สังกะสี (Zinc) กาโดลิเนียม (Gadolinium) และธาตุที่มีเลขอะตอม (Atomic number) ตั้งแต่ 30 - 74

การนับรอย (counting) คือ การหาความหนาแน่นของรอยโดยการนับจำนวนรอยต่อ 1 ตารางเซนติเมตร โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มี eye piece เป็นตาราง และมีกำลังขยาย × 10X objective ที่มีกำลังขยาย × 45x

การพัฒนาเทคนิค คือ การหาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อทำให้มองเห็นรอยได้ชัดเจน ซึ่งประกอบด้วยการเลือกความเข้มข้นของสารเคมี การกำหนดเวลาในการแช่ตัวอย่าง และการกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการกัดผิว รวมทั้งการอ่านและการนับรอยได้อย่างถูกต้อง

MeV มาจาก มิลเลียนอิเล็กตรอนโวลท์ (Million Electron Volt) เป็นหน่วยของพลังงานที่ใช้ทางด้านนิวเคลียร์ แทนหน่วยของพลังงานปกติ ซึ่งมีหน่วยเป็นเออร์ก (ดายน์-เซนติเมตร) มีหน่วยที่เล็กที่สุดเป็นอิเล็กตรอนโวลท์ (Electron Volt : eV) คือ 1 eV หมายถึง พลังงานที่ใช้ในการทำให้อิเล็กตรอน 1 ตัว วิ่งผ่านสนามไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ 1 โวลท์

เทอร์มอลนิวตรอนครอสเซคชั่น (Thermal neutron cross section) คือ ความสามารถที่ธาตุจะรับเอานิวตรอนชนิดช้าหรือพลังงานต่ำเข้ามาทำปฏิกริยากับนิวเคลียส์ของมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์

ไอโซโทปิคอบันแดนซ์ (Isotopic abundance) คือ ไอโซโทปของธาตุที่ปนอยู่กับไอโซโทปตัวอื่น ๆ ของธาตุนั้นที่มีอยู่ในธรรมชาติ

ฟิชชั่นแทรคเดทติ้ง (Fission Track Dating) คือ การกำหนดอายุโดยการนับรอยที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสี

รอยที่เกิดโดยธรรมชาติ (spontaneous track) คือ รอยที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสีโดยธรรมชาติ

รอยที่เกิดจากการอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน (induced track) คือ รอยที่เกิดจากการนำตัวอย่างไปอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน

นิวตรอนฟลักซ์ (Neutron flux) คือ จำนวนนิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที (neutron cm^{-2} sec^{-1})

รอยฟิชชั่น (fission track) คือ รอยที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสี

ปฏิกริยาฟิชชั่น (fission reaction) คือ ปฏิกริยาที่เกิดจากการแตกตัว

บทที่ 2

ประวัติ ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ประวัติ

รอยฟิชชั่น พบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1950 โดย ซิลค์ และ บาร์น (Silk and Barn) ชาวอังกฤษ โดยการทดลองให้อนุภาคที่ได้จากการแตกตัวโดยปฏิกริยาฟิชชั่นของธาตุกัมมันตรังสี วิ่งเข้าชนผลึกของไมกา (Mica) พบว่า ความเร็วของอนุภาคจะลดลง จนในที่สุดหยุดนิ่ง และจะทิ้งรอยเป็นทางยาวประมาณ 0.01 มิลลิเมตร ไว้ตรงบริเวณที่มันเข้าชน เรียกรอยนี้ว่า รอยฟิชชั่น (Macdougall. 1976 : 114) หลังจากนี้ไม่นาน เขาก็สามารถแสดงให้เห็นว่า ไอออนหนักที่มีพลังงานสูง (energetic heavy ions) ทุกชนิดสามารถทำให้เกิดรอยในของแข็งที่วิ่งเข้าชนได้

หลังจากนั้น ไฟลช์เชอร์ ไพรซ์ และ วอคเกอร์ (Fleischer, Price and Walker) พบว่า ยูเรเนียมในสภาพไม่บริสุทธิ์ ซึ่งฝังตัวอยู่ในแร่หินชนิดต่าง ๆ สามารถทำให้เกิดรอยได้ และยังพบว่ารอยเหล่านี้สามารถทำให้เพิ่มขนาดขึ้นได้ประมาณ 100 เท่า เมื่อนำไปกัดผิวในสารเคมีที่เหมาะสม และจะมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาที่มีกำลังขยาย 500 - 1,000 เท่า ถ้านำเอาจำนวนรอยที่เกิดจากการแตกตัวโดยตนเองซึ่งจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณธาตุที่สลายตัวไปมาสัมพันธ์กับปริมาณธาตุที่ยังเหลืออยู่ ก็จะทราบได้ว่าธาตุนั้นได้สลายตัวไปแล้วเป็นเวลานานเท่าใด จากครึ่งอายุของธาตุ (half life) และค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant) เวลาที่ใช้ในการสลายตัวจะบอกถึงอายุของหิน แร่ หรือของแข็งที่ธาตุนั้น ๆ ฝังตัวอยู่ ดังตัวอย่างในตาราง 2

ตาราง 2 ชนิดของโบราณวัตถุและอายุที่กำหนดโดยเทคนิคการนับรอยที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสี (Fission Track Technique)

อายุ, ปี (ประมาณ)	วัสดุ	ส่วนที่ใช้กำหนดอายุ
100	Glassware, New England	High Uranium glass
500	Pottery, Japan	Uranium-rich glaze
1,000	Arrowhead, Japan	Obsidian from dwelling destroyed by fire
1,000 - 2,000	Pottery, Japan	Zircons in fired Sand
4,000	Knife, Kenya	Obsidian heated in hearth
5,000	Spearhead, Japan	Obsidian from dwelling destroyed by fire
400,000	Site of early man, Valsequilla, Mexico	Zircon from volcanic ash and pumice
2,000,000	Bed I, Olduvai Gorge, Tanzania	Volcanic pumice
10,000 - 10,000,000	Archaeological Obsidian	Obsidian dated to establish trade routes

ทฤษฎี

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีจะเกิดขึ้นเมื่อพลังงานของนิวเคลียสดั้งเดิม (parents nucleus) มากกว่าพลังงานของผลผลิตที่ได้จากการแตกตัวอนุภาคที่ถูกส่งออก จะออกมาด้วย

ความเร็วจำนวนหนึ่ง ซึ่งดูคล้ายกับว่าเป็นความเร็วต่ำ ๆ แต่จะมีพลังงานจลน์เกิดขึ้นในอนุภาคนั้น เนื่องจากการสลายตัวของนิวเคลียสเกิดขึ้นโดยปราศจากการรบกวนจากภายนอก พลังงานจลน์นี้จะต้องมาจากพลังงานของนิวเคลียสเอง การสลายตัวแบบนี้เรียกว่าการสลายตัวด้วยตนเอง (spontaneous decay) (สมเกียรติ กรีทอง 2523 : 15 - 16)

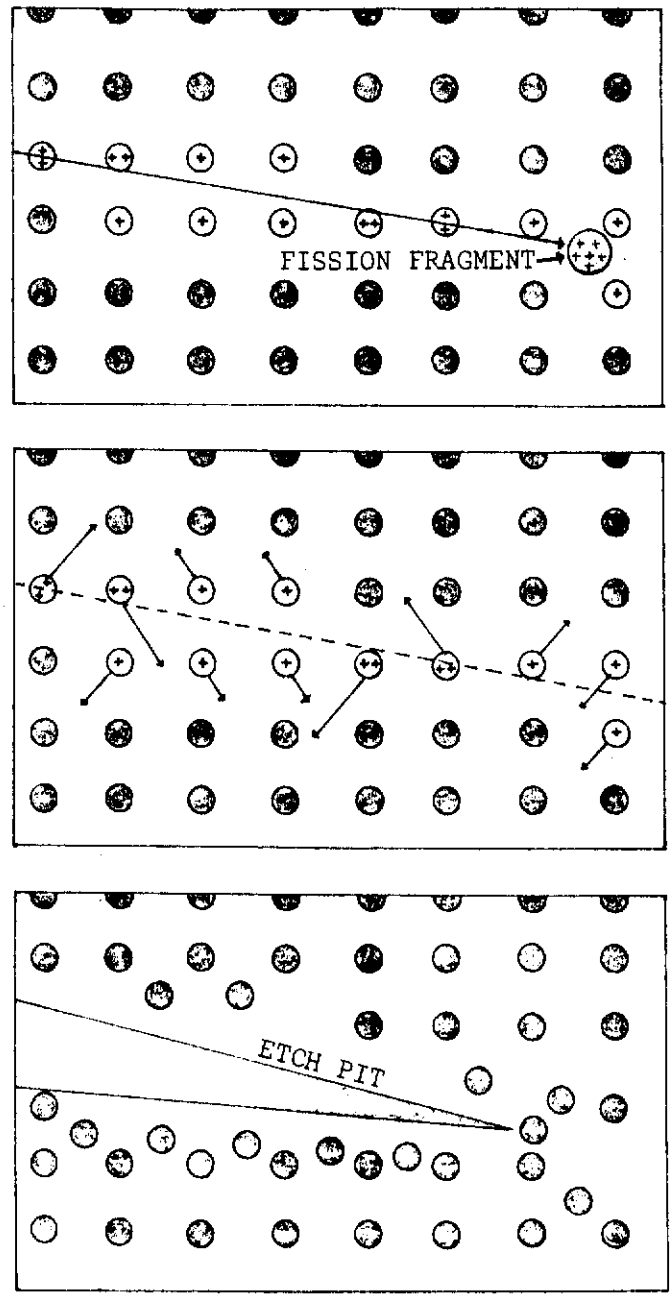
การสลายตัวด้วยตนเองมีหลายวิธี เช่น การสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา (Alpha dacay) การสลายตัวให้อนุภาคเบต้า (Beta decay) การสลายตัวด้วยตนเองที่น่าสนใจวิธีหนึ่งคือ การแตกตัวโดยปฏิกริยาฟิชชั่น โดยปกติแล้วปฏิกริยาฟิชชั่นจะเกิดขึ้นโดยการบอมบาร์ด (bombard) อะตอมด้วยอนุภาคที่มีพลังงานต่าง ๆ กัน เช่น นิวตรอน โปรตอน ดิวทีรอน รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ ที่มีพลังงานพอเหมาะ ปฏิกิริยาฟิชชั่นจะเกิดได้ดีกับอะตอมของธาตุที่มีเลขอะตอมใกล้เคียง 100 เช่น ยูเรเนียม-235 พลูโตเนียม-239 แต่อาจเกิดได้กับอะตอมของธาตุเบา เช่น บิสมัธ ทองตะกั่ว และพวกธาตุหายาก (rare earth) บางธาตุได้เมื่อยิงด้วยอนุภาคที่มีพลังงานสูงขนาด 50 - 420 MeV นิวเคลียสของธาตุพวกนี้จะแตกออกเป็นสองส่วน เรียกว่า Binary fission (มีน้อยมากจะเกิดแบบ Ternary fission) เป็นผลให้ได้อนุภาคที่มีประจุ (charged particle) สองอนุภาควิ่งออกจากกัน ในกรณีของธาตุที่หนักมาก ๆ การแตกตัวอาจจะเกิดขึ้นได้เอง เรียกว่าการแตกตัวโดยตนเอง

กระบวนการแตกตัวโดยตนเอง พบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1940 โดย เพทร์ซาค (Petrzhak) และ ฟลีรอฟ (Flerov) เขาพบว่า $_{92}U^{238}$ สามารถแตกตัวโดยตนเองได้ (Friedlander, Kennedy and Miller. 1964 : 235) ปกตินิวคลีออนจะรวมกันอยู่ภายในนิวเคลียสด้วยแรงนิวเคลียร์ (Neuclear force) แรงนี้จะพยายามทำให้นิวเคลียสเป็นรูปทรงกลม ซึ่งเป็นการจัดเรียงตัวที่เสถียรที่สุดของธาตุหนัก และมีสิ่งกีดขวางของคูลอมบ์ (Coulomb Barrier) กั้นไม่ให้อนุภาคที่อยู่ภายในนิวเคลียสออกมาข้างนอก และอนุภาคจากข้างนอกเข้าไปในนิวเคลียสได้ แต่ในกรณีของธาตุหนักมาก ๆ (โปรตอนมาก) แรงคูลอมบ์ (Coulomb force) ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้นิวเคลียสไม่อยู่ตัว อันเกิดจากแรงผลักระหว่างโปรตอน จะมีค่ามากพอที่จะเอาชนะสิ่งกีดขวางของคูลอมบ์ได้ ทำให้นิวเคลียสไม่สามารถคงตัวอยู่ได้ จึงแตกออกเป็นสองส่วน แต่ละส่วนเป็นอนุภาคที่มีประจุเรียกว่า ฟิชชั่นแฟรกเมนต์ ซึ่งจะวิ่งออกจากกันด้วยความเร็วสูง

การเกิดรอยฟิชชั่น (Fission Track Formation)

ไฟลช์เชอร์ ไพรซ์ และ วอคเกอร์ (Fleischer, Price and Walker) ได้อธิบายการเกิดรอยเนื่องจากปฏิกริยาฟิชชั่น โดยใช้แบบ (model) Ion-Explosion-Spike ว่า เมื่อฟิชชั่นแฟรกเมนต์ที่มีประจุแรงมาก วิ่งด้วยความเร็วสูงเข้าชนของแข็งที่เป็นเป้า อะตอมของเป้าบริเวณที่ถูกชนจะถูกอิออนไนซ์ (ionize) ได้โดย ฟิชชั่นแฟรกเมนต์ถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนของอะตอมของเป้า ทำให้อะตอมของเป้าเกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน และเกิดอนุภาคที่มีประจุบวกขึ้น อนุภาคเหล่านี้จะถูกผลักให้มีการเรียงตัวกันใหม่เพื่อให้เกิดความสมดุล จึงทำให้เกิดช่องว่างขึ้นที่บริเวณนั้น (Macdougall. 1976 : 114) ส่วนในกรณีที่เป้าเป็นตัวนำจะไม่ปรากฏช่องว่างขึ้นเนื่องจาก อนุภาคที่มีประจุบวกจะถูกอิเล็กตรอนอิสระ (free electron) ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงมาทำให้เกิดความสมดุลเสียก่อนที่จะมีการจัดเรียงตัวกันใหม่ ช่องว่างที่เกิดขึ้นในของแข็งที่เป็นเป้าเรียกว่า รอยฟิชชั่น

รอยฟิชชั่นที่ปรากฏอยู่ในของแข็งที่เป็นแก้วทั่ว ๆ ไป เป็นรอยที่เกิดจากฟิชชั่นแฟรกเมนต์โดยการแตกตัวโดยตนเองของยูเรเนียม-238 เป็นส่วนใหญ่ โอกาสที่จะเกิดจากยูเรเนียม-235 และ รอเรียม-232 รวมกันแล้วน้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ของรอยที่ปรากฏอยู่ทั้งหมด (Macdougall. 1976 : 115) ส่วนโอกาสที่จะเกิดจากอนุภาคแอลฟา (Alpha particle) น้อยมาก เพราะการสลายตัวโดยให้อนุภาคแอลฟาของยูเรเนียม-238 เกิดขึ้นเพียง 1 ใน 2 ล้าน ของการแตกตัวโดยปฏิกริยาฟิชชั่น (Macdougall. 1976 : 116) และพลังงานของอนุภาคแอลฟา อยู่ระหว่าง 1.5 MeV (Ce^{142}) ถึง 11.7 MeV (Po^{212m}) (Friedlander, Kennedy and Miller. 1964 : 49) ซึ่งน้อยกว่าพลังงานวิกฤต (critical energy) ของแก้ว ส่วนพลังงานของฟิชชั่นแฟรกเมนต์ของยูเรเนียม ประมาณ 67 MeV (สำหรับอนุภาคที่มีมวลมาก) และ 98 MeV (สำหรับอนุภาคที่มีมวลน้อย) (Kleeman. 1975 : 17) ซึ่งมากกว่าพลังงานวิกฤตของแก้ว (ประมาณ 15 MeV) ในการเกิดรอยได้นั้น อัตราการสูญเสียพลังงานของอนุภาคจะต้องมากกว่าพลังงานวิกฤตของแก้ว



ภาพประกอบ 1 แสดงการเกิดรอยโดยใช้แบบ ION-EXPLOSION SPIKE

การกำหนดอายุโดยรอยฟิชชั่น (Fission Track Dating)

ในการกำหนดอายุของโบราณวัตถุประเภทที่เป็นแก้วโดยทั่วไปทั้งแก้วธรรมชาติและแก้วที่มนุษย์ทำขึ้น ทำได้โดยการคำนวณจากความสัมพันธ์ของจำนวนรอยที่เกิดจากการแตกตัวโดยตนเองของยูเรเนียม-238 กับจำนวนรอยที่เกิดจากปฏิกริยาฟิชชั่นของยูเรเนียม-235 เมื่อนำไปอาบรังสี (irradiate) ด้วยเทอร์มอลนิวตรอน โดยจำนวนรอยที่เกิดขึ้นทั้งสองวิธีนี้ จะสัมพันธ์กับ ปริมาณของยูเรเนียมและเวลาที่ใช้ในการแตกตัวจนสามารถทำให้มีจำนวนรอยมากพอที่จะนำมาคำนวณได้ ตัวอย่างที่จะนำมากำหนดอายุโดยวิธีนี้ จะต้องมีสมบัติสามอย่าง คือ

1. มีปริมาณยูเรเนียมอยู่มากพอสมควร

2. มีจำนวนรอยสะสมอยู่มากพอที่จะพบได้ในพื้นที่ไม่มากนัก

3. คาดว่าจะมีอายุมากพอที่จะคำนวณได้เมื่อเทียบกับปริมาณยูเรเนียมที่มีอยู่

แก้วที่มนุษย์ทำขึ้นมียูเรเนียม 10,000 ส่วนในล้านส่วน สามารถคำนวณอายุได้หลังจาก 30 ปีขึ้นไป ส่วนแก้วที่มีปริมาณยูเรเนียมน้อยลง เวลาที่ใช้ในการสะสมรอยให้มีมากพอที่จะพบได้ในพื้นที่หนึ่ง ๆ จะมากขึ้น โดยจำนวนรอยจะขึ้นอยู่กับปริมาณของยูเรเนียมและเวลา ทั้งนี้ในการคำนวณหาอายุจะต้องมีข้อตกลง 4 อย่างคือ

1. ถือว่าอัตราการแตกตัวของยูเรเนียมคงที่

2. การเกิดรอยในเนื้อแก้วเกิดขึ้น 100 เปอร์เซนต์คือ ทุกครั้งที่มีฟิชชั่นแฟรกเมนต์เข้าชน จะต้องมีรอยเกิดขึ้น

3. จำนวนรอยที่เกิดขึ้นแล้วยังคงปรากฏอยู่ 100 เปอร์เซนต์

4. ความเข้มข้นของยูเรเนียมในทุกตัวอย่างคงที่

สูตรที่ใช้ในการคำนวณเพื่อกำหนดอายุโดยรอยฟิชชั่น มีหลายสูตรซึ่งจำแนกออกได้ดังนี้

1. สูตรของคลีแมน (Kleeman. 1975 : 19)

$$T = \frac{1}{\lambda_D} \cdot \ln \left(\frac{P_s}{P_i} \cdot \frac{n\sigma I \lambda_D}{\lambda_F} + 1 \right)$$

T = เวลาที่ใช้ในการสะสมรอย (อายุ)

λ_D = ค่าคงที่ของการสลายตัวของยูเรเนียม

λ_F = ค่าคงที่ของการแตกตัวโดยปฏิกริยาฟิชชั่นของยูเรเนียม

P_s = จำนวนรอยที่เกิดจากการแตกตัวโดยตนเองของยูเรเนียมต่อตารางเซนติเมตร

P_i = จำนวนรอยที่เกิดจากการแตกตัวของยูเรเนียมหลังอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน ต่อตารางเซนติเมตร

n = จำนวนนิวตรอนฟลักซ์ต่อตารางเซนติเมตร

σ = เทอร์มอลนิวตรอนครอสเซคชั่นสำหรับปฏิกริยาฟิชชั่นของยูเรเนียม-235

I = ไอโซโทปิค อบันแดนซ์ ของยูเรเนียม-235

2. สูตรของไฟลชเชอร์ และ ไพรซ์ (Fleischer and Price. 1964b: 332)

$$A = 4.78 \times 10^{-12} (P_s/P_i)(N_F/M)$$

A = เวลาที่รอยเริ่มสะสมมา (อายุ)

P_s = จำนวนรอยที่เกิดจากการแตกตัวโดยตนเองของยูเรเนียมต่อตารางเซนติเมตร

P_i = จำนวนรอยที่เกิดจากการแตกตัวของยูเรเนียมหลังอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน ต่อตารางเซนติเมตร

N_F = จำนวนอะตอมของยูเรเนียมต่อหน่วยปริมาตร

M = มวลของสารมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

3. สูตรของนิชิมูรา (Nishimura. 1971 : 242)

$$T = 6.12 \times 10^{-8} \phi \frac{P_s}{P_i}$$

T = อายุของโบราณวัตถุ

ϕ = เทอร์มอลนิวตรอนฟลักซ์ต่อตารางเซนติเมตร

P_s = จำนวนรอยที่เกิดจากการแตกตัวโดยตนเองของยูเรเนียมต่อตารางเซนติเมตร

P_i = จำนวนรอยที่เกิดจากการแตกตัวของยูเรเนียมหลังอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอนต่อตารางเซนติเมตร

4. สูตรของ วัตทานาเบ และ ซูซูกิ (Watanabe and Suzuki. 1969 : 1057)

$$T = 6.12 \times 10^{-8} \phi \left(\frac{P_s}{P_i}\right)$$

เหมือนสูตรของ นิชิมูรา เนื่องจากสูตรที่ใช้ในการคำนวณเพื่อกำหนดอายุของวัตถุโบราณโดยวิธีนับรอยที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสีมีหลายสูตร ซึ่งแต่ละสูตรเมื่อคำนวณอายุแล้วจะสอดคล้องกับอายุที่กำหนดโดยวิธีอื่น ๆ ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้เลือกใช้สูตรที่ง่ายและไม่ยุ่งยากในการคำนวณนัก คือ

$$T = 6.12 \times 10^{-8} \phi \left(\frac{P_s}{P_i}\right)$$

T = อายุของวัตถุโบราณ

ϕ = เทอร์มอลนิวตรอนฟลักซ์ต่อตารางเซนติเมตร

P_s = จำนวนรอยที่เกิดจากการแตกตัวโดยตนเองของยูเรเนียมต่อตารางเซนติเมตร

P_i = จำนวนรอยที่เกิดจากการแตกตัวของยูเรเนียมหลังอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอนต่อตารางเซนติเมตร

อายุที่คำนวณได้เป็นอายุตั้งแต่เริ่มมีการสะสมรอยเป็นต้นมา เพราะในการทำแก้วเป็นรูปร่างต่าง ๆ ที่ผ่านการให้ความร้อนสูง ๆ จำนวนรอยที่มีอยู่เดิมจะสลบหมด และจะเริ่มมีการสะสมรอยใหม่หลังจากวัตถุนั้นเย็นลงแล้ว

แก้ว (Glass)

แก้วเป็นของผสมที่ได้จากสารอนินทรีย์ เกิดจากการหลอมทราย (Silica : SiO_2) เข้ากับสารอนินทรีย์ตัวอื่น ๆ ที่อุณหภูมิสูงและเมื่อเย็นลงจะได้ของแข็งที่ไม่เป็นผลึก (Amorphous) มีลักษณะโปร่งใสและโปร่งแสง เนื่องจากทรายมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 1,700 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการหลอมแก้วเพื่อทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ จึงต้องใส่โซดาแอช (Sodium Carbonate : Na_2CO_3) ลงไปด้วย เพื่อให้อุณหภูมิในการหลอมแก้วลดลง โซดาแอชที่เติมลงไปนี้เรียกว่า ฟลักซ์ (Flux)

เมื่อนำส่วนผสมของทรายและโซดาแอชมาให้ความร้อน คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะระเหยออกไปแล้วโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) จะรวมกับทราย เกิดเป็นสารประกอบซิลิเกต (Silicate) ดังสมการ

$$Na_2CO_3 + nSiO_2 \longrightarrow Na_2O \cdot nSiO_2 + CO_2$$

แก้วพวกที่เป็นโซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate : $Na_2O \cdot nSiO_2$) นี้สามารถละลายน้ำได้ จึงต้องใส่ปูนขาว (Lime : CaO) ลงไปด้วย เพื่อไม่ให้แก้วพวกนี้ละลายน้ำได้ โดยปูนขาวจะทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดเสถียรภาพ (Stabilizing Agent) ทำให้โครงสร้างของโซเดียมเกาะกันแน่น การใส่ปูนขาวมักใส่ในรูปของหินปูน (Limestone : $CaCO_3$)

แก้วธรรมชาติ (Natural Glass)

แก้วธรรมชาติ คือ แก้วที่ปฏิรูปตัวเองขึ้นมาโดยปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟระเบิด ฟ้าผ่าลงบนพื้นทราย แก้วธรรมชาติมี 4 ชนิด คือ

1. ออฟซิเดียน (Obsidian) หรือแก้วภูเขาไฟ (Volcanic Glass) เกิดจากการหลอมเหลวของหินแกรนิต (Glanite) ในขณะเกิดภูเขาไฟระเบิด แล้วค่อย ๆ เย็นตัวลงโดยไม่มีการตกผลึก

2. พูมิส (Pumice) เป็นแก้วที่พบในบริเวณที่มีภูเขาไฟระเบิด มีความหนาแน่นต่ำ

เนื่องจากมีฟองอากาศอยู่มาก

3. ฟัลเกอร์ไรต์ (Fulgerites) เป็นหลอดแก้วบาง ๆ ที่เกิดจากการหลอมเหลวของทราย เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบนพื้นทราย

4. เทคไทท์ (Tektites) เป็นแก้วธรรมชาติที่ใช้ในการทำลูกปัด พบอยู่ทั่ว ๆ ไป โดยเฉพาะในมหาสมุทรแปซิฟิค ตั้งแต่ญี่ปุ่นจนถึงออสเตรเลีย จากการศึกษาส่วนประกอบพบว่าแก้วพวกนี้มีองค์ประกอบเหมือนแก้วที่พบบนดวงจันทร์

<u>แก้วที่มนุษย์ทำขึ้น</u> (Man-Made Glass)

ไม่มีผู้ใดทราบว่ามนุษย์คนแรกที่ทำแก้วได้คือใคร มาจากไหน และค้นพบเมื่อใด แต่มีเรื่องเล่ากันมาว่า กลาสีเรือชาวโฟนีเซียกลุ่มหนึ่งเป็นผู้พบวิธีทำแก้วโดยบังเอิญ เมื่อเขาพบว่าวัสดุที่เขาใช้รองภายนะในขณะหุงต้มนั้น เมื่อเย็นลงกลายเป็นวัสดุโปร่งใส นอกจากนั้นก็มีผู้เชี่ยวชาญบางท่านได้กล่าวว่า ชาวอียิปต์และกลุ่มประเทศเพื่อนบ้านได้ทำแก้วขึ้นมาใช้เป็นเครื่องขูดเกลาก้อนหินเป็นเวลาประมาณ 14,000 ปีมาแล้ว และได้มีหลักฐานบันทึกไว้ว่า ได้มีการทดลองทำแก้วขึ้นเป็นรูปร่างต่าง ๆ เป็นครั้งแรกเมื่อ 9,000 ปีมาแล้ว (วันชัย ประภานนท์ ม.ร.อีฟิตเซ่อร์แมน และ เล่นาะ ธนะโชติ 2518 : 3)

ในการตรวจสอบเครื่องแก้วโบราณ เพื่อหาส่วนประกอบต่าง ๆ ทำให้นักโบราณคดีสามารถคาดคะเนถึงยุคสมัย และแหล่งประดิษฐ์เครื่องแก้วได้ ซึ่งส่วนประกอบส่วนใหญ่ที่ใช้ในการพิจารณาคือ ปริมาณของแมกนีเซียมและโปตัสเซียม ดังนั้น เครื่องแก้วโบราณจึงแบ่งออกเป็นสามประเภท คือ

1. พวกที่มีปริมาณของ แมกนีเซียมและโปตัสเซียมสูง

2. พวกที่มีปริมาณของแมกนีเซียมและโปตัสเซียมต่ำ

3. พวกที่มีตะกั่วมาก

สำหรับส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการทำแก้วตั้งแต่สมัยโบราณมาจนถึงสมัยปัจจุบัน คือ ทราย โซดาแอช และหินปูน แต่ปัจจุบันมักใส่ออกไซด์ของโลหะตัวอื่น ๆ ลงไปด้วยเพื่อให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามต้องการ

เอกสารการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในต่างประเทศ

ไพรซ์ และ วอคเกอร์ (Price and Walker. 1963 : 4847 - 4862) ได้ศึกษารอยที่เกิดจากอนุภาคที่มีประจุวิ่งเข้าชนผลึกของแร่ไมกา พบว่าเมื่อนำตัวอย่างที่มีความหนาประมาณ 10 มิลลิไมครอน และมีผิวหน้าเรียบไปกัดผิวใน 15%HF ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน หลังจากนั้นนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายไม่มากนักจะสังเกตุเห็นรอยเป็นรูปกรวย มีความยาวประมาณ 10 มิลลิไมครอน และมีความกว้างเท่ากันตลอด กระจายอยู่ทั่วไปตามผิวหน้าของผลึก และมีความหนาแน่นต่าง ๆ กันตั้งแต่ $10^3/cm^2$ - $5 \times 10^4/cm^2$ จากการศึกษาบริเวณใกล้เคียงคาดว่ารอยเหล่านี้ถูกสะสมมานานประมาณ 10^6 ปี และเมื่อนำความหนาแน่นของรอยมาคำนวณหาอายุจากอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของรอยที่เกิดโดยธรรมชาติ (P_s) กับรอยที่เกิดจากการอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน (P_i) ต่อหน่วยพื้นที่ พบว่าอายุที่กำหนดได้สอดคล้องกับอายุที่ได้จากการกำหนดโดยอาศัยหลักฐานทางธรณีวิทยา

ต่อมา ไฟลช์เชอร์ และ ไพรซ์ (Fleischer and Price. 1964 : 331 - 339) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการกำหนดอายุโดยวิธีฟิชชั่นแทรกเดทติ้ง กับวิธีโปตัสเซียม-อาร์กอน เดทติ้ง ของ Tektite จากแหล่งต่าง ๆ และได้ทำการกำหนดอายุของ Libyan Glass ด้วยวิธี ฟิชชั่นแทรคเดทติ้ง โดยนำตัวอย่างไปฝังใน กาวอีปอกซี (epoxy resin) แล้วนำมาฝนผิวหน้าให้เรียบ นำไปกัดผิวใน 48%HF เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์นับรอยที่เกิดโดยธรรมชาติ (P_s) แล้วนำตัวอย่างนี้ไปอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน นับรอยที่เกิดจากปฏิกริยาฟิชชั่นโดยการกระทำของเทอร์มอลนิวตรอน (P_i) จากนั้นนำไปคำนวณโดยใช้สูตรของ ไฟลช์เชอร์ และ ไพรซ์ คือ $A = 4.78 \times 10^{-12} (P_s/P_i) (N_F/M)$ เมื่อ N_F คือ จำนวนอะตอมใน 1 หน่วยปริมาตร และ M คือ มวลเป็นกรัม พบว่าอายุที่กำหนดโดยวิธีฟิชชั่นแทรค สอดคล้องกับอายุที่กำหนดโดยวิธีโปตัสเซียม-อาร์กอน และหาอายุของ Libyan Glass ได้ 34 ล้านปี

ตาราง 3 แสดงการกำหนดอายุโดยฟิชชั่นแทรคเดทติ้งกับโปตัสเซียม-อาร์กอน เดทติ้งของไฟล์เชอร์ และ ไพรซ์

ชนิดของตัวอย่าง	แหล่งของตัวอย่าง	อายุโดยฟิชชั่นแทรค (ล้านปี)	อายุโดยโปตัสเซียม-อาร์กอน (ตัวอย่างเดียวกัน)
Tektite	ฟิลิปปินส์	0.78	0.60 - 0.69*
Tektite	ฟิลิปปินส์	0.78	0.68 - 0.76+
Tektite	ออสเตรเลีย	<0.03	0.44 - 0.80‡
Tektite	ไทย	0.79	-
Tektite	โบราเรีย	12.2	8.4 - 8.9*
Tektite	โบฮีเมีย	15.3	14.5 - 15+
Tektite	เท็กซัส	35.4	29.4*
Tektite	เท็กซัส	35.3	34 - 35+
Tektite	เท็กซัส	32.7	29.0‡
Libyan Glass	อัฟริกา	33.8	-

*เจนท์เนอร์ และ ฮาร์นเจอร์ (Gentner and Zähringer 1960)

+ฮาร์นเจอร์ (Zähringer 1963)

‡เรโนลส์ (Reynolds 1960)

ไฟล์เชอร์ และคนอื่น ๆ (Fleischer and others. 1965 : 1138) ได้ทำการกำหนดอายุของ Mesolithic knife ด้วยวิธีฟิชชั่นแทรคเดทติ้ง โดยใช้ตัวอย่าง 0.1 กรัม ฝังในกาวอีปอกซี แล้วฝนผิวหน้าให้เรียบ นำไปกัดผิวใน 48%HF เป็นเวลา 15 วินาทีที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อนับรอย พบว่ามี 17 รอยต่อ 5.6 ตารางเซนติเมตร ก่อนอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน และมี 64,000 รอยต่อ 1 ตารางเซนติเมตร หลังอาบรังสี

เทอร์มอลนิวตรอน เมื่อนำมาคำนวณอายุได้ 3,700 ± 900 ปี นอกจากนี้ ไฟลช์เฮอร์ และคนอื่น ๆ ได้ชี้ให้เห็นว่าการกำหนดอายุโดยวิธีฟิชชั่นแทรคเดทติ้งนี้สามารถนำไปใช้ในการกำหนดอายุของวัตถุต่าง ๆ ทางโบราณคดีได้ เช่น พวกแก้วที่มนุษย์ทำขึ้น ซึ่งจะกำหนดอายุได้ตั้งแต่ 20 ปีถึงมากกว่า 2,000 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของยูเรเนียม-238 ในวัตถุดิบ และพวกแก้วธรรมชาติที่มีผู้นำมาให้ความร้อนจนหลอมแล้วทำเป็นวัตถุต่าง ๆ เช่น มีด

ต่อมา วัตทานาเบ และ ซูซูกิ (Watanabe and Suzuki, 1969 : 1057 - 1058) แห่งมหาวิทยาลัยเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ได้กำหนดอายุของวัตถุโบราณที่เป็นแก้วของญี่ปุ่นด้วยเทคนิคฟิชชั่นแทรค โดยใช้ตัวอย่าง 0.2 กรัม ฝังในกาวอีปอกซี ฝนผิวหน้าให้เรียบ นำไปกัดผิวใน 48%HF เป็นเวลา 15 - 25 วินาทีที่อุณหภูมิห้อง นำมานับรอยด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้ รอยที่เกิดโดยธรรมชาติ (P_s) แล้วนำตัวอย่างไปอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน นำมานับรอยได้ รอยที่เกิดจากการอาบรังสี (P_i) แล้วนำมาคำนวณโดยใช้สูตร

$$T = 6.12 \times 10^{-8} \phi \left(\frac{P_s}{P_i}\right)$$

ϕ = เทอร์มอลนิวตรอนฟลักซ์

ได้ผลดังตาราง 4

ตาราง 4 แสดงการกำหนดอายุโดยเทคนิคฟิชชั่นแทรคของวัตทานาเบ และ ซูซูกิ

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการกัดผิว (วินาที)	นิวตรอนฟลักซ์ ($\times 10^{15}$)	$P_i \times 10^5$ จำนวน/ตารางเซนติเมตร	P_s จำนวน/ตารางเซนติเมตร	อายุ (ปี)	อุณหภูมิที่ทำให้รอยหายไปอย่างเร็ว
Tosamporo	15	1.8	1.00	4.62	5080±400	350-400
Onnemoto	15	0.3	0.16	0.92	1060±160	350-400
Seto	25	1.8	0.75	0.33	520±110	170-230

ดัวรานิ และ คนอื่น ๆ (Durrani and others. 1971 : 242 - 245) แห่งมหาวิทยาลัยเบอร์มิงแอมร์ สหรัฐอเมริกา ได้กำหนดอายุของแก้วภูเขาไฟด้วยเทคนิคฟิชชั่นแทรค โดยนำตัวอย่างไปฝังในกาวอีปอกซี ฝนผิวหน้าให้เรียบแล้วนำไปกัดผิวใน 40%HF ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส นำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ นับรอยที่เกิดโดยธรรมชาติแล้วนำตัวอย่างไปอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน นับรอยที่เกิดจากการอาบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน แล้วนำมาคำนวณโดยใช้สูตร

$$A = \left(\frac{P_s}{P_i}\right) 5.01 \times 10^{-8} F$$

F = เทอร์มอลนิวตรอนฟลักซ์

ได้ผลดังตาราง 5

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ถนนสุขุมวิท 23 พระโขนง กรุงเทพฯ 11 โทร. 3921575, 3915058

ตาราง 5 แสดงการกำหนดอายุโดยเทคนิคฟิชชั่นแทรคของตัวรานิ และคนอื่น ๆ

ตัวอย่าง	อายุ (ล้านปี)
Hungarian	
Borsod (60)	3.86 ± 0.24
Borsod (22)	3.37 ± 0.27
Central Anatolian	
Bor (100)	2.29 ± 0.32
Acigol (269)	1.95 ± 0.33
Acigol (156)	8.14 ± 0.59
Aegean	
Giali (390)	2.01 ± 0.26
Giali (218)	8.04 ± 0.65
Melos, Adhamas (120)	8.95 ± 0.94
Melos, Adhamas (25)	8.54 ± 0.73
Melos, Dhemenegaki (119)	8.35 ± 0.72
Melos, Dhemenegaki (116)	2.36 ± 0.53
Franchthi cave (S. Greece)	
Sample 6936 (H.1, A 117)	8.48 ± 0.55
Sample 7077 (H.1, A 123)	8.82 ± 0.57
Sample 7066 (H.1, A 99)	9.33 ± 0.60

150492

นิชิมูรา (Nishimura. 1971 : 242 - 243) แห่งมหาวิทยาลัยเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ได้ทำการกำหนดอายุของวัตถุโบราณต่าง ๆ ด้วยเทคนิคฟิชชั่นแทรค โดยศึกษาตัวอย่างสามพวก คือ กากแร่ (slags) แร่ที่เผาแล้ว (pottery) และแก้ว (glass) โดยฝังตัวอย่างในกาวอีปอกซี บนแผ่นแก้วสไลด์ แล้วขัดผิวหน้าให้เรียบ นำไปกัดผิวใน 46%HF 2-40 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมานับรอย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ได้รอยที่เกิดโดยธรรมชาติ (P_s) หลังจากนี้นำไปอบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน แล้วนำมานับรอยจากการอบรังสีเทอร์มอลนิวตรอน (P_i) แล้วนำมาคำนวณอายุโดยใช้สูตร

$$T = 6.12 \times 10^{-8} \phi \left(\frac{P_s}{P_i}\right)$$

ϕ = เทอร์มอลนิวตรอนฟลักซ์

ได้ผลดังตาราง 6

ตาราง 6 แสดงการกำหนดอายุโดยเทคนิคฟิชชั่นแทรคของ นิชิมูรา

ตัวอย่าง	แหล่งตัวอย่าง	P_s จำนวน/ตาราง เซนติเมตร	P_i จำนวน/ตาราง เซนติเมตร	เทอร์มอล นิวตรอน ฟลักซ์	อายุโดยฟิชชั่น แทรค (ปี)
Zircon (baked earth)	Ise, Hata, Mie Pref.	4.7×10^3	5.7×10^7	0.46×10^{15}	2300
Zircon (baked earth)	Hirakata, Osaka Pref.	2.0×10^3	2.5×10^7	0.46×10^{15}	2200
Zircon (baked earth)	Hisai, Mie Pref.	1.0×10^4	1.8×10^8	0.44×10^{15}	1500
Glass ball	Hirono, Uji, Kyoto Pref.	6.3×10^2	4.8×10^5	2.31×10^{15}	1480
"Tatata"	Ichinomiya, Okayama City	3.1×10^2	4.1×10^7	2.8×10^{15}	1330
Zircon (baked earth)	Iwasaki, Nisshin, Aichi Pref.	3.6×10^4	7.5×10^8	0.44×10^{15}	1300
Zircon (baked earth)	Sakai City	2.7×10^3	6.3×10^7	0.46×10^{15}	1220
Zircon (tile)	Nagaoka, Kyoto Pref.	8.3×10^3	2.0×10^8	0.50×10^{15}	1220
Zircon (pottery)	Nagaoka, Kyoto Pref.	7.0×10^3	1.9×10^8	0.50×10^{15}	1150
"Tatara"	Habutenno, Wake,Okayama Pref.	2.2×10^2	1.7×10^7	1.47×10^{15}	1150
Zircon (opening of folge)	Arai, Fukaya, Shiraishi City	6.8×10^3	1.8×10^8	0.50×10^{15}	1150
"Tatara"	Michikunihara, Fukaya, Shiraishi City	2.2×10^2	3.3×10^7	2.81×10^{15}	1110
"Tatara"	Habutenno, Wake, Okayama Pref.	1.5×10^2	2.4×10^7	2.81×10^{15}	1110
Zircon (baked earth)	Fuso, Aichi Pref.	2.3×10^4	8.8×10^8	0.44×10^{15}	700
Glaze on bowl	Isumi, Toki City	4.5×10	1.11×10^5	1.9×10^{15}	400

นอกจากนี้ บิคเกซซี และ โบนาดอนนา (Bigazzi and Bonadonna. 1973 : 322 - 323) ได้กำหนดอายุของวัตถุโบราณชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิคฟิชชั่นแทรค ได้ผลดังตาราง 7

ตาราง 7 แสดงการกำหนดอายุโดยเทคนิคฟิชชั่นแทรคบาง บิคเกซี และ โบนาดอนนา

ตัวอย่าง	P_s จำนวน/ตารางเซนติเมตร	เทอร์มอลนิวตรอนฟลักซ์	P_i จำนวน/ตารางเซนติเมตร	อายุ (ปี)
Monte Aquilone	-			
(Manfredonia) 1	37	0.80×10^{15}	166,000	11000 ± 2900
3	29	0.80×10^{15}	168,000	8000 ± 3500
4	30	0.80×10^{15}	118,000	12500 ± 5000
Catignano				
(Chieti) CH 1-1	30	0.80×10^{15}	152,000	10000 ± 3000
CH 1-2	-	0.80×10^{15}	155,000	-
F 1-2	31	0.80×10^{15}	138,000	11000 ± 2700
Fossa Cesia FR 2	23	0.80×10^{15}	123,000	9700 ± 3000
(Pescara) F 261	30	0.80×10^{15}	125,000	11900 ± 2200
F 2-2	36	0.80×10^{15}	150,000	11800 ± 3400
Lipari Scavo 1	29	0.67×10^{15}	106,000	10500 ± 2800
(Filicudi) 1	31	0.67×10^{15}	128,000	101000 ± 2500
3	32	0.67×10^{15}	119000	11200 ± 3000

ในประเทศไทย

สำหรับการกำหนดอายุโดยฟิชชั่นแทรคเดทติ้ง ในประเทศไทยนั้น ยังไม่พบว่ามีผู้ใดได้ศึกษามาก่อน แต่ได้มีผู้ศึกษาฟิชชั่นแทรคในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ

จรัญ พรหมสุวรรณ (จรัญ พรหมสุวรรณ 2517 : 57) ได้ศึกษาการนำหลักการเกิดรอยบนแผ่นแก้วมาใช้ประโยชน์ในการตรวจหาปริมาณธอเรียม โดยใช้ผงตัวอย่าง 6 ตัวอย่าง โรยบนแผ่นแก้วสไลด์ แล้วนำมาอาบรังสีนิวตรอนความเร็วสูง (fast neutron) จากต้นกำเนิดนิวตรอนอะเมอริเซียม-เบอริเลี่ยมฟลักซ์ 10^6 นิวตรอนต่อวินาทีที่ใช้ระยะใกล้เป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นนำมากัดผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริค แล้วนับรอยที่เกิดขึ้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ หาปริมาณธอเรียมได้โดยเปรียบเทียบกับจำนวนรอยของผงสารมาตรฐาน และเปรียบเทียบปริมาณของธอเรียมที่หาได้กับจากที่หาได้โดยวิธีอื่น ผลของการวิเคราะห์ปรากฏว่าให้ความเที่ยงตรงพอใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้แบ่งออกเป็นสองประเภท คือ

1. ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาลักษณะของรอย การอ่านรอย และการนับรอย โดยใช้ตัวอย่างที่ทราบอายุแล้วจากต่างประเทศ

2. ตัวอย่างที่ใช้ในการกำหนดอายุ เป็นแก้วตัวอย่างจากพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ จำนวนสามตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. กล้องจุลทรรศน์ ขนาด eye piece × 10x objective × 45x

2. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเพื่อการวิจัย

ขั้นตอนในการวิจัย

แบ่งออกเป็นสองตอน คือ

ตอนที่ 1 ศึกษาตัวอย่างประเภทที่ 1 มีขั้นตอนดังนี้

1. นำตัวอย่างแก้วมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดกว้าง ยาว พอประมาณ

2. นำตัวอย่างแต่ละชิ้นมาทำการศึกษาหาวิธีเพื่อให้สามารถมองเห็นรอยได้ชัดเจนที่สุด ซึ่งประกอบด้วย

2.1 ความหนาของตัวอย่าง

2.2 เวลาที่ใช้ในการกัดรอย

แล้วนับรอย

3. นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้รอยลบได้หมด

4. นำตัวอย่างที่อบแล้วไปอาบรังสี และนับรอยอีกครั้งหนึ่ง

5. คำนวณหาอายุของตัวอย่าง

6. เปรียบเทียบอายุที่คำนวณได้กับอายุที่ทราบแล้ว

7. สรุปผล

ตอนที่ 2 *ศึกษาตัวอย่างประเภทที่สอง* โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนของตอนที่ 1 ข้อ 1 - 5

2. หาข้อมูลเกี่ยวกับอายุของตัวอย่าง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอายุที่คำนวณได้

3. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

<u>วิธีดำเนินการทดลอง</u>

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างทั้งสองชนิดมาทำความสะอาด แล้วตัดตัวอย่างออกเป็นชิ้น ๆ

2. ฝนด้านหนึ่งของตัวอย่างให้เรียบ โดยใช้ผงขัดชนิดหยาบและละเอียด

3. ฝนด้านหนึ่งของแผ่นสไลด์ให้เป็นฝ้า เพื่อให้มีความฝืดยึดกับตัวอย่างได้ดี

4. นำด้านที่เรียบของตัวอย่างติดกับแผ่นสไลด์ด้านที่เป็นฝ้า โดยใช้กาวที่มีความแข็งและใส

5. ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที ให้กาวแห้งสนิท แล้วฝนผิวอีกด้านหนึ่งให้เรียบและบาง โดยใช้ผงขัดชนิดหยาบและละเอียด

6. นำตัวอย่างมาทำการกัดผิว

การกัดผิวเป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่ทำให้สามารถมองเห็นรอยได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา เพราะการกัดผิวเป็นการเพิ่มขนาดของรอยให้ใหญ่พอที่จะมองเห็นได้ โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารที่ใช้ในการกัดผิวกับแก้ว ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังนี้ คือ

6.1 ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการกัดผิว

6.2 เวลาที่ใช้ในการกัดผิว

6.3 อุณหภูมิ

สารเคมีที่ใช้ในการกัดผิวของแก้ว คือ กรดไฮโดรฟลูออริค (hydrofluoric acid : HF) ซึ่งมีความเข้มข้นมากที่สุด 48 เปอร์เซ็นต์ ในการวิจัยครั้งนี้จะเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตั้งแต่ 20 - 48 เปอร์เซ็นต์ กับจะใช้เวลาต่าง ๆ กัน ดังตาราง 8 ส่วนอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้รอยมีการเปลี่ยนแปลงได้ จึงใช้อุณหภูมิคงที่ที่ 23 องศาเซลเซียส

ตาราง 8 แสดงสถานะต่าง ๆ ของการกัดผิว

ความเข้มข้นกรด (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาที่ใช้ในการกัดผิว (วินาที)
48	23	10 - 90 ช่วงละ 5 วินาที
30	23	30 - 140 ช่วงละ 10 วินาที
20	23	60 - 240 ช่วงละ 15 วินาที

หลังจากกัดผิวแล้วนำมาล้างด้วยน้ำที่กำลังไหล 2 - 4 นาที ปล่อยให้แห้งแล้วนำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อหาตัวอย่างที่มีขนาดของรอยที่มองเห็นได้ชัดเจนและนับง่าย

เมื่อได้เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างแต่ละชนิดแล้วนำมาทดลองกับตัวอย่าง ตัวอย่างละ 10 ครั้ง

7. การนับรอย

นำตัวอย่างที่ทำการกัดผิวเรียบร้อยแล้ว มาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มี eye piece เป็นตาราง กำลังขยาย × 10x objective × 45x โดยใช้แสงจากดวงไฟ 6 โวลต์ และมีฟิลเตอร์สีเขียวเป็นตัวตัดแสง พิจารณานับรอยที่มองเห็นเป็นรูปกรวยสึก ๆ ที่มีขนาดใกล้เคียงกันทุกตัวอย่าง

8. การอาบรังสี

นำตัวอย่างที่นับรอยแล้วไปอบที่อุณหภูมิสูงและเป็นเวลานานพอที่ทำให้รอยลบหมด จากนั้นนำตัวอย่างเข้าอาบรังสีพร้อมกับปั้นทองแดงที่ทราบน้ำหนักเพื่อให้ปรากฏรอยใหม่ในตัวอย่าง และคำนวณนิวตรอนฟลักซ์จากแผ่นทองแดง

9. การคำนวณอายุ

คำนวณหาอายุตัวอย่างจากสูตร

$$T = 6.12 \times 10^{-8} \phi \frac{P_s}{P_i}$$

คำนวณหานิวตรอนฟลักซ์จากสูตร

$$A = N\psi\sigma(1 - e^{-\lambda t})$$

N = จำนวนอะตอม

ψ = นิวตรอนฟลักซ์

σ = นิวตรอนครอสเซคชั่น

λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว

t = ระยะเวลาในการอาบรังสี

สูตรทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})}{N - 1}}$$

เมื่อ S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x = จำนวนรอยที่นับในแต่ละครั้ง

$\bar{x}$ = จำนวนรอยเฉลี่ยในการนับ 10 ครั้ง

N = จำนวนครั้งที่นับ

2. การหาร $(A \pm a) \div (B \pm b) = (A/B) \pm (A/B) \sqrt{a^2/A^2 + b^2/B^2}$

การคูณ $(A \pm a) \times (B \pm b) = (AB) \pm (AB) \sqrt{a^2/A^2 + b^2/B^2}$

เมื่อ A, B = จำนวนนับ

a, b = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็นสองตอน คือ ผลการวิจัยเพื่อกำหนดอายุของตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุแล้ว และผลการวิจัยเพื่อกำหนดอายุของตัวอย่างวัตถุโบราณที่เป็นแก้วจากกองโบราณคดี คือ ลูกปัด จำนวนสามตัวอย่าง ได้แก่ ลูกปัดเม็ดใหญ่จากบ้านเชียง ลูกปัดเม็ดเล็กจากบ้านเชียง จังหวัดอุดรธานี และลูกปัดเม็ดเล็กจากอำเภอสู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งผลการวิจัยเป็นดังนี้

1. ผลการวิจัยเพื่อกำหนดอายุของตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุแล้ว

1.1 การหาเงื่อนไขที่ใช้ในการกัดผิวเพื่อให้สามารถสังเกตเห็นรอยได้ชัดเจนด้วยกรดไฮโดรฟลูออริคที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ผลดังตาราง 9

ตาราง 9 แสดงเวลาที่ใช้ในการกัดผิวในกรดไฮโดรฟลูออริคที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของกรด (เปอร์เซ็นต์)	เวลา (นาที)
แก้วที่ทราบอายุแล้ว 1.	48	15 - 20
2.	30	30 - 35
3.	20	50 - 55

เพื่อเป็นการประหยัดเวลา จึงใช้กรดไฮโดรฟลูออริคที่มีความเข้มข้น 48 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกัดผิว เพราะใช้เวลาในการกัดน้อยที่สุด

1.2 การนับจำนวนรอยในตัวอย่างก่อนนำไปอาบรังสี ตามเงื่อนไขข้อ 1.1 จำนวน 10 ตารางเซนติเมตร โดยเคลื่อนไปตามจุดต่าง ๆ 10 ครั้ง ได้ผลดังตาราง 10

ตาราง 10 แสดงจำนวนรอยในตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุก่อนอาบรังสี

นับรอยครั้งที่	จำนวนรอยใน 10 ตารางเซ็นติเมตร	จำนวนรอย/ตารางเซ็นติเมตร
1	2	0.2
2	3	0.3
3	2	0.2
4	4	0.4
5	3	0.3
6	4	0.4
7	2	0.2
8	2	0.2
9	3	0.3
10	2	0.2

1.3 นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อลบรอยที่มีอยู่เดิมให้หมดก่อนนำไปอาบรังสี

1.4 นำตัวอย่างไปอาบรังสีใน Lazy Susan ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งมีฟลักซ์นิวตรอน 1.64×10^{13} ต่อตารางเซ็นติเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วทิ้งไว้ในกระปุกตะกั่ว 1 อาทิตย์ จึงนำมาทำการกัดผิวตามเงื่อนไขเดิม และนับรอยได้ผลดังตาราง 11

ตาราง 11 แสดงจำนวนรอยในตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุหลังอาบรังสี

นับรอยครั้งที่	จำนวนรอยใน 10 ตารางเซ็นติเมตร	จำนวนรอย /ตารางเซ็นติเมตร
1	34	3.4
2	37	3.7
3	40	4.0
4	34	3.4
5	45	4.5
6	31	3.1
7	35	3.5
8	40	4.0
9	40	4.0
10	38	3.8

1.5 คำนวณอายุได้ 71,000 ± 19,880 ปี

1.6 เปรียบเทียบกับอายุที่กำหนดแล้ว คือ 57,000 ± 8,000 ปี

2. ผลการวิจัยเพื่อคำนวณอายุของตัวอย่างวัตถุโบราณที่เป็นแก้วสามตัวอย่าง ได้ผลดังนี้

2.1 การหาเงื่อนไขที่ใช้ในการกัดผิวเพื่อให้สามารถสังเกตเห็นรอยได้ชัดเจนที่สุดในกรดไฮโดรฟลูออริคที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ผลดังตาราง 12

ตาราง 12 แสดงเวลาที่ใช้ในการกัดผิวตัวอย่างแก้วในกรดไฮโดรฟลูออริคที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของกรด (เปอร์เซ็นต์)	เวลา (วินาที)
ลูกปัดเม็ดใหญ่ 1	48	20 - 30
จากบ้านเชียง 2	30	40 - 50
3	20	70 - 80
ลูกปัดเม็ดเล็ก 1	48	20 - 30
จากบ้านเชียง 2	30	40 - 50
3	20	70 - 80
ลูกปัดเม็ดเล็ก 1	48	20 - 30
จากสุพรรณบุรี 2	30	70 - 80
3	20	70 - 90

จากตาราง 12 เวลาที่ใช้ในการกัดผิวตัวอย่างทั้งสามตัวอย่างเท่ากัน ในแต่ละตัวอย่างเลือกใช้กรดไฮโดรฟลูออริค ที่มีความเข้มข้น 48 เปอร์เซ็นต์เป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการกัดผิวต่อไป เพราะใช้เวลาน้อยที่สุด

2.2 การนับจำนวนรอยในตัวอย่างก่อนนำไปอาบรังสี ตามเงื่อนไขข้อ 2.1 จำนวน 10 ตารางเซ็นติเมตร โดยเคลื่อนไปตามจุดต่าง ๆ 10 ครั้ง ได้ผลดังตาราง 13

ตาราง 13 แสดงจำนวนรอยในตัวอย่างแก้วก่อนอาบรังสี

นับรอยครั้งที่	จำนวนรอยใน 10 ตารางเซ็นติเมตร			จำนวนรอย/ตารางเซ็นติเมตร		
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3
1	14	4	19	1.4	0.4	1.9
2	11	3	21	1.1	0.3	2.1
3	8	11	14	0.8	1.1	1.4
4	7	7	10	0.7	0.7	1.0
5	9	10	17	0.9	1.0	1.7
6	8	8	16	0.8	0.8	1.6
7	6	6	19	0.6	0.6	1.9
8	9	5	14	0.9	0.5	1.4
9	7	7	17	0.7	0.7	1.7
10	10	8	13	1.0	0.8	1.3

2.3 นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อไม่ปรากฏรอยเหลืออยู่ จึงนำไปอาบรังสีใน Lazy Susan ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งมีนิวตรอนฟลักซ์ 1.64×10^{13} ต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที แล้วทิ้งไว้ในกระปุกตะกั่ว 1 อาทิตย์ จึงนำมาทำการกัดรอยตามเงื่อนไขเดิม และนับรอยได้ผลดังตาราง 14

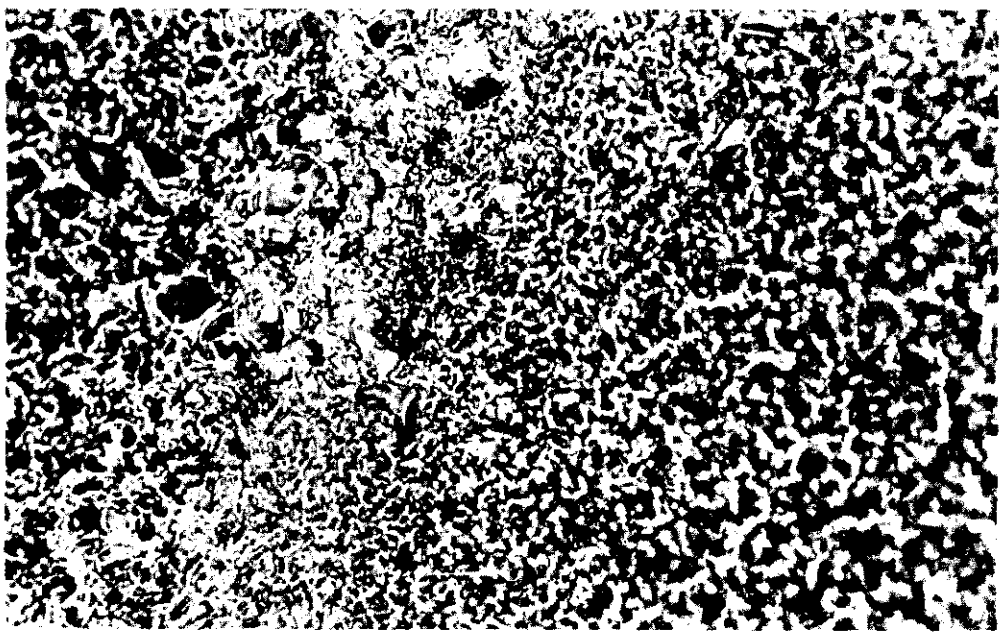
ตาราง 14 แสดงจำนวนรอยในตัวอย่างแก้วหลังอาบรังสี

นับรอยครั้งที่	จำนวนรอยใน 10 ตารางเซนติเมตร			จำนวนรอย/ตารางเซนติเมตร		
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3
1	281	75	62	28.1	7.5	6.2
2	281	51	67	28.1	5.1	6.7
3	240	64	49	24.0	6.4	4.9
4	218	76	52	21.8	7.6	5.2
5	240	70	59	24.0	7.0	5.9
6	270	72	64	27.0	7.2	6.4
7	268	67	55	26.8	6.7	5.5
8	275	64	62	27.5	6.4	6.2
9	265	70	59	26.5	7.0	5.9
10	250	57	60	25.0	5.7	6.0

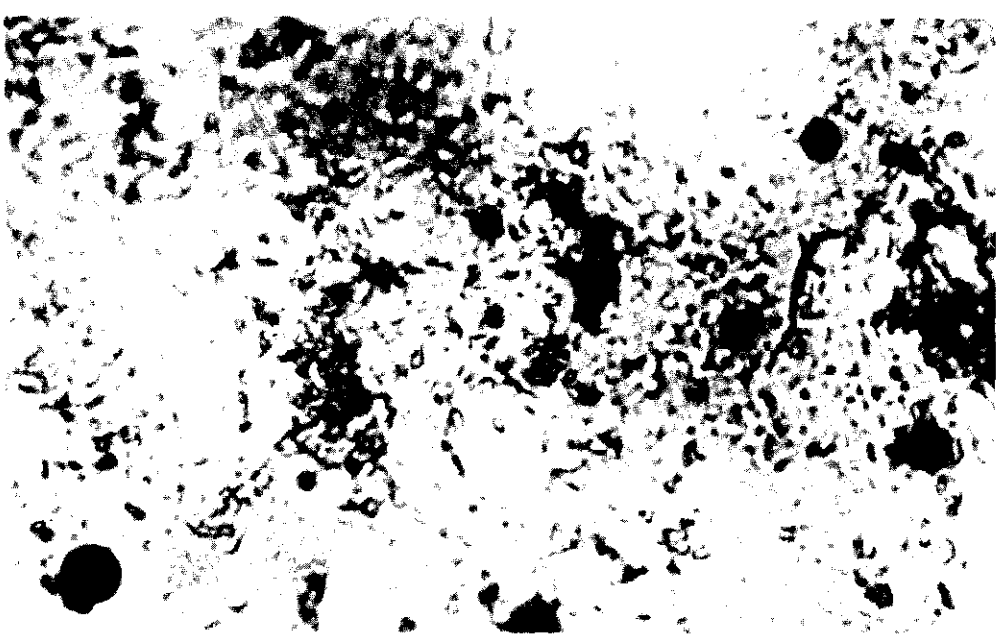
.2.4 คำนวณอายุได้ผลดังตาราง 15

ตาราง 15 แสดงอายุของตัวอย่างแก้วที่กำหนดโดยวิธีฟิชชั่นแทรคเดทติ้ง

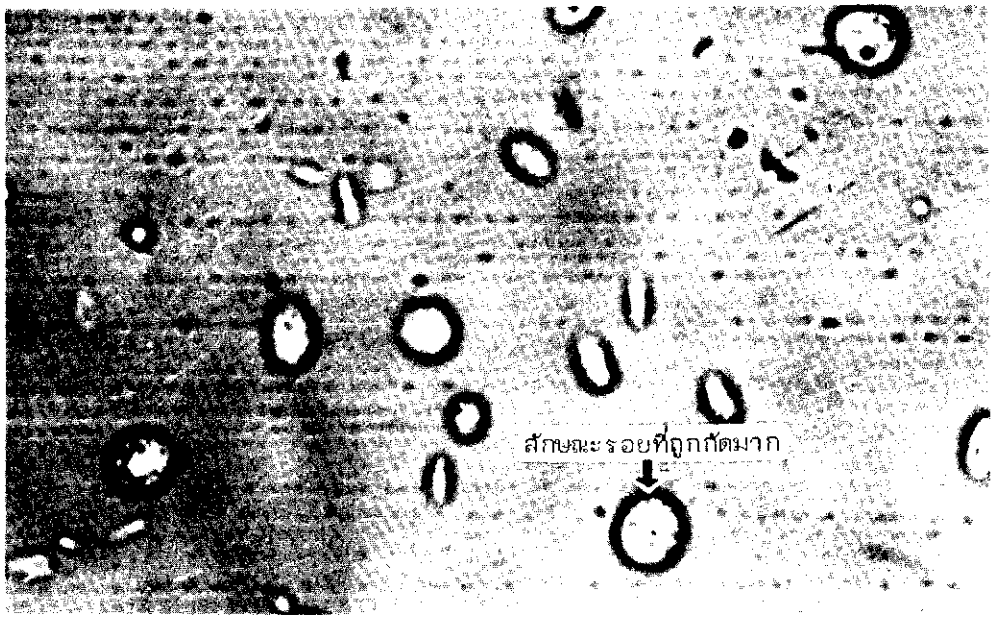
ตัวอย่าง	อายุ (ปี)
ลูกปัดเม็ดใหญ่จากบ้านเชียง 1	34,000 ± 4,200
ลูกปัดเม็ดเล็กจากบ้านเชียง 2	100,000 ± 35,900
ลูกปัดเม็ดเล็กจากอู่ทอง 3	270,000 ± 12,900



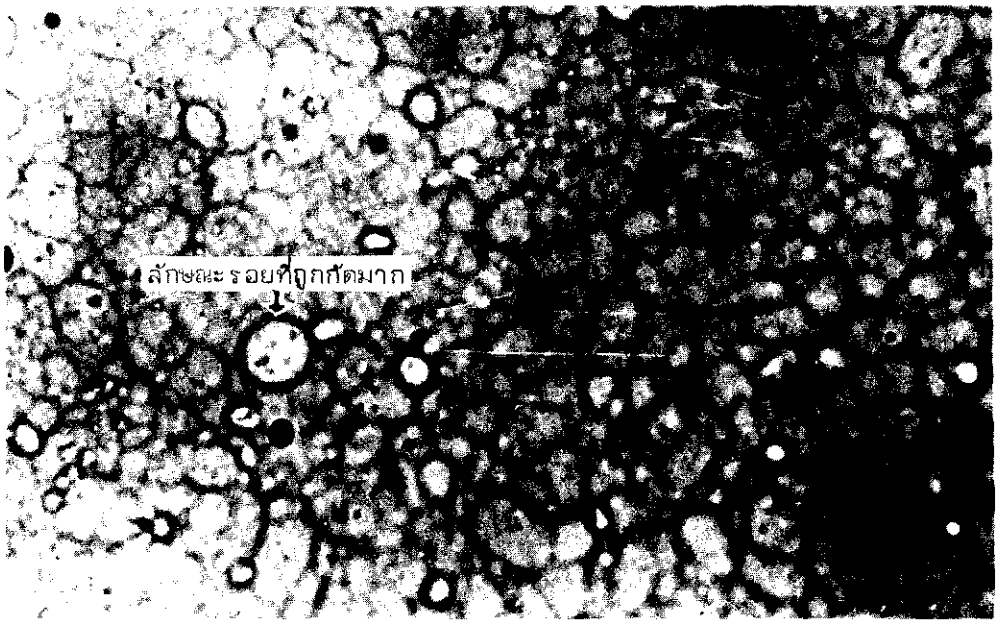
ภาพประกอบ 2 ลักษณะของผิวแก้วหลังจากฝนด้วยผงขัด



ภาพประกอบ 3 ลักษณะของผิวแก้วหลังอบจนรอยลบ



ภาพประกอบ 4 ลักษณะของรอยในแก้วมาตรฐานหลังอาบรังสีกัดผิวใน 48% HF 20 วินาที



ภาพประกอบ 5 ลักษณะของรอยในแก้วตัวอย่างหลังอาบรังสีกัดผิวใน 48% HF 30 วินาที

บทที่ 5

บทย่อ สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

บทย่อ

ความมุ่งหมายในการวิจัย การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายดังนี้

1. ศึกษาวิธีการและเทคนิคการฉับรอยที่เกิดจากการแตกตัวของสารกัมมันตรังสี เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดอายุตัวอย่างวัตถุโบราณที่เป็นแก้วบางชนิด

2. นำเอาเทคนิคที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้กับวัตถุโบราณที่เป็นแก้วบางชนิด

ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีสองประเภท คือ

1. ตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุแล้วจากประเทศออสเตรเลีย

2. ตัวอย่างลูกปัดที่เป็นแก้ว จำนวนสามตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้กล้องจุลทรรศน์ ขนาด eye piece × 10x และ objective × 45x สำหรับฉับรอย และเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู เพื่อการวิจัยของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ สำหรับนำตัวอย่างเข้าไปอาบรังสี

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นสองตอน คือ

ตอนที่ 1 ศึกษาตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุแล้วจากประเทศออสเตรเลีย ตามขั้นตอนดังนี้

1. นำตัวอย่างแก้วมาฝนให้ผิวด้านหนึ่งเรียบติดกับแผ่นสไลด์ด้านที่เป็นฝ้าโดยใช้กาวอีพ็อกซี ทิ้งไว้จนกาวแห้งสนิท

2. ฝนอีกด้านหนึ่งของตัวอย่างให้เรียบและบางพอที่จะมองเห็นรอยได้

3. นำตัวอย่างไปกัดผิวในกรดไฮโดรฟลูออริกที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ เพื่อหารอยที่ขัดเจนที่สุดแล้วนับ

4. นำตัวอย่างไปอบจนกระทั่งไม่มีรอยปรากฏอยู่อีก

5. นำตัวอย่างเข้าอาบรังสีเป็นเวลา 10 นาที แล้วทิ้งไว้ในกระปุกตะกั่ว 1 อาทิตย์

6. นำตัวอย่างมากัดผิวในกรดไฮโดรฟลูออริกที่ความเข้มข้นและเวลาเดิมและนับรอย

7. คำนวณหาอายุตัวอย่าง เปรียบเทียบกับอายุจริง

ตอนที่ 2 ศึกษาตัวอย่างแก้วลูกปัดสามตัวอย่าง โดยดำเนินตามขั้นตอน 1 - 6 เหมือนตอนที่ 1 แล้วคำนวณอายุ

<u>สรุปผลการวิจัย</u>

ผลการวิจัยสรุปได้ดังตาราง 16

ตาราง 16 สรุปผลการวิจัย

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการกัดผิว (วินาที)	ความเข้มข้นของกรดไฮโดรฟลูออริก (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณยูเรเนียม	ความหนาแน่นของแทร็กที่เกิดจากนิวเคลียสตกกระทบก่อนอาบรังสี	ความหนาแน่นของแทร็กที่เกิดจากนิวเคลียสตกกระทบหลังอาบรังสี	อายุ (ปี)	ความหนาที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น
แก้วที่ทราบอายุ	15 - 20	48	1.64×10^{13}	0.26±.10	3.80± .38	71,000±19,880	∿700
ลูกปัดเม็ดใหญ่จากบ้านเชียง	20 - 30	48	1.64×10^{13}	0.89±.23	25.88±2.09	34,000± 4,200	∿700
ลูกปัดเม็ดเล็กจากบ้านเชียง	20 - 30	48	1.64×10^{13}	0.69±.24	6.66± .78	100,000±35,900	∿700
ลูกปัดเม็ดเล็กจากอู่ทอง	20 - 30	48	1.64×10^{13}	1.6 ±.32	5.89± .54	270,000±12,900	∿700

ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการวิจัย

1. ความผิดพลาดที่เกิดจากการนับรอยก่อนและหลังอาบรังสีเนื่องจากการสังเกตรอยไม่ชัดเจน

2. ความผิดพลาดที่เกิดจากการกระจายของรอยในตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยครั้งนี้ปรากฏว่า

1. การวิจัยเพื่อหาเงื่อนไขในการกัดผิวเพื่อทำให้สังเกตเห็นรอยได้ชัดเจนที่สุด พบว่า ในการกัดผิวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ สามารถทำให้สังเกตเห็นรอยได้ชัดเจนเท่า ๆ กัน เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและความสะดวกในการทดลอง ผู้วิจัยจึงเลือกใช้กรดไฮโดรฟลูออริคที่มีความเข้มข้น 48 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสังเกตเห็นรอยที่สำคัญ คือ ความหนาของตัวอย่าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสีและลักษณะของแก้วตัวอย่าง ไม่สามารถกำหนดแน่นอนได้ว่าตัวอย่างจะต้องมีความหนาเท่าไร แต่จะสังเกตได้จากลักษณะของรอย ซึ่งจะมีขอบดำหนามากมองเห็นแสงเพียงเล็กน้อย

อีกปัจจัยหนึ่งคือการตัดสินว่ารอยที่มองเห็นเป็นรอยฟิชชั่นหรือไม่ เนื่องจากในเนื้อแก้วมีรอยต่าง ๆ ปรากฏอยู่มาก ดังนั้น ในการตัดสินว่ารอยนั้น คือ รอยฟิชชั่น ทำได้โดยการสังเกตแสงที่ลอดผ่านขึ้นมาทางช่องเล็ก ๆ อาจจะเป็นทางยาว หรือเป็นวงกลม ๆ ก็ได้ และลักษณะของรอยฟิชชั่นจะต้องมีขอบดำ ๆ ให้เห็นด้วย ในการศึกษาลักษณะของรอย ผู้วิจัยได้ศึกษาจากรอยในตัวอย่างแก้วมาตรฐาน NBS หมายเลข 961 และ 964

การลบรอยในแก้วตัวอย่างทำได้โดยนำแก้วตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิสูง ซึ่งตัวอย่างทั้งสองชนิดที่ได้ทำการวิจัย พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้รอยลบอยู่ระหว่าง 700 - 750 องศาเซลเซียส ดังนั้น การเลือกใช้กาวสำหรับติดแก้วตัวอย่างกับสไลด์ จะต้องเป็นกาวที่แข็งมากเพราะทนต่อแรงฝนได้ จะต้องใสเพื่อให้แสงผ่านได้ และจะต้องไม่ไหม้ไฟเมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิสูง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้กาวอีพ็อกซี่

2. การกำหนดอายุตัวอย่าง

การกำหนดอายุตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุแล้วได้ 71,000 ± 19,880 ปี เปรียบเทียบกับอายุที่ทราบแล้ว คือ 57,000 ± 8,000 ปี มีความผิดพลาด 24.56 เปอร์เซ็นต์

การกำหนดอายุตัวอย่างแก้วลูกปัดทั้งสามตัวอย่าง เป็นดังนี้

ตัวอย่างแก้วลูกปัดเม็ดใหญ่จากบ้านเชียง 34,000 ± 4,200 ปี

ตัวอย่างแก้วลูกปัดเม็ดเล็กจากบ้านเชียง 100,000 ± 35,900 ปี

ตัวอย่างแก้วลูกปัดเม็ดเล็กจากภูทอง 270,000 ± 12,900 ปี

อายุที่กำหนดโดยเทคนิคฟิชชั่นแทรกมีค่าผิดพลาดสูงมาก คือ 28 - 35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตัวอย่างแก้วที่ทราบอายุและตัวอย่างลูกปัดเม็ดเล็กจากบ้านเชียง ทั้งนี้เพราะการกระจายของรอยไม่สม่ำเสมอ ส่วนลูกปัดเม็ดใหญ่จากบ้านเชียงมีค่าผิดพลาด 12 เปอร์เซ็นต์ และลูกปัดเม็ดเล็กจากภูทอง 4.7 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าการกำหนดอายุโดยวิธีนี้จะมีค่าผิดพลาดสูง แต่ก็เป็นที่นิยมทำกันมากในต่างประเทศ

จากการศึกษาประวัติศาสตร์ของบ้านเชียง ของกรมศิลปากร โดยกำหนดอายุจากเครื่องปั้นดินเผา พบว่ามีอายุประมาณ 6,000 - 9,000 ปี แต่สำหรับลูกปัดยังไม่ได้มีการกำหนดอายุ และยังไม่ทราบว่า แก้วที่ใช้ทำลูกปัดนั้นประดิษฐ์ขึ้นเองที่บ้านเชียงหรือไม่ จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า อายุที่กำหนดได้ แตกต่างจากอายุของเครื่องปั้นดินเผามาก แสดงว่าแก้วที่ใช้ทำลูกปัดอาจไม่ได้ประดิษฐ์ขึ้นในสมัยเดียวกับเครื่องปั้นดินเผา มนุษย์บ้านเชียงอาจนำแก้วที่เกิดขึ้นนานแล้วมาทำลูกปัด หรือมนุษย์บ้านเชียงอาจมีการติดต่อกับแหล่งอื่น ๆ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

1. ควรนำตัวอย่างลูกปัดจากบ้านเชียงและจากแหล่งต่าง ๆ มาทำการกำหนดอายุโดยวิธีอื่น ๆ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบกับอายุที่กำหนดแล้ว

2. ควรนำวิธีการกำหนดอายุโดยวิธีฟิชชั่นแทรกไปใช้ในการกำหนดอายุวัตถุโบราณชนิดอื่น ๆ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

จรัญ พราหมสุวรรณ การวิเคราะห์ปริมาณของธอเรียมด้วยรอบของฟิชชั่นแฟรกเมนต์ วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ฟิสิกส์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2517, 57 หน้า อัดสำเนา

ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ การหาอายุโบราณวัตถุบางชิ้นจากบ้านเชียง โดยวิธีคาร์บอน-14 วิทยานิพนธ์ วค.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2519, 60 หน้า อัดสำเนา

ดาราภานต์ ฮำนิโรภสำนต์ "การทำนายอายุของวัตถุโบราณด้วยสารกัมมันตรังสี" วิทยาศาสตร์ 1 : 21 - 24 มกราคม 2512

เทวัญ เกษมศิริ "แก้วยุคไหน" ชัยพฤกษ์วิทยาศาสตร์ 9 : 11 - 16 มีนาคม 2521

ธันยับ ประภานนท์ ม.ร. อีฟิตเฮอร์แมน และ เสนาะ ธนะโชติ "ประวัติความเป็นมาของแก้ว" ครูช่างศิลป์ 3 : 2 - 13 มกราคม 2518

ศักษณ์ ทรรพนันท์ "เคมีรังสีประยุกต์" วิทยาศาสตร์ 11 : 935 พฤศจิกายน 2511

ศรีศักร วัลลิโภดม "เครื่องสังคโลก" เมืองโบราณ 1 : 34 - 36 กรกฎาคม 2518

_____ "แหล่งโบราณคดีที่ถูกลืมในหนองคายและอุดรธานี" เมืองโบราณ 4 : 28 กรกฎาคม 2519

_____ "ความก้าวหน้าในการค้นคว้าเรื่องก่อนประวัติศาสตร์ในเมืองไทย" เมืองโบราณ 4 : 55 - 60 กรกฎาคม - กันยายน 2521

สมเกียรติ กรีทอง เคมีนิวเคลียร์และเคมีนิวเคลียร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 2523, 276 หน้า

Bigazzi, Giulio and Francescopaolo Bonadonna. "Fission Track Dating of the Obsidian of Lipari Island (Italy)," Nature. 242 : 322 - 323, March, 1972.

Durrani, S.A. and others. "Obsidian Source Identification by Fission Track Analysis," Nature. 233 : 243 - 245, September, 1971.

Fleischer, R.L. "Advances in Fission Track Dating," General Electric. 74CRD281 : 1 - 26, November, 1974.

Fleischer, R.L. "Fission Tracks and Archaeology," General Electric. 76CRD015 : 1 - 6, February, 1976.

Fleischer, R.L. and P.B. Price. "Charged Particle Tracks in Glass," Journal of Applied Physics. 9 : 2903 - 2904, September, 1963.

_____. "Uranium Contents of Ancient Man-Made Glass," Science. 144 : 841 - 842, May, 1964a.

_____. "Glass Dating by Fission Fragment Tracks," Journal of Geophysical Research. 69 : 331 - 339, January, 1964b.

Fleischer, R.L. and others. "Fission Track Dating of Mesolithic Knife," Nature. 205 : 1138, March, 1965.

Fleischer, R.L., P.B. Price and R.M. Walker. "Tracks of Charged Particles in Solids," Science. 149 : 383 - 393, July, 1965.

Friedlander, J.W. Kennedy and J.M. Miller. Nuclear and Radiochemistry. New York, John Wiley and Sons, Inc., 1964. 585 p.

Goffer, Zvi. Archaeological Chemistry. New York, John Wiley and Sons, Inc., 1980. 378 p.

Kleeman, J.D. "Geological Age Measurements Using Fission Tracks," Atomic Energy. 18(2) : 17 - 22, April, 1975.

Kolb, Doris and Kenneth E. Kolb. "The Chemistry of Glass," Journal of Chemical Education. 56 : 604 - 608, September, 1979.

Macdougall, J.D. "Fission-Track Dating," Scientific American. 235(6) : 114 - 122, December, 1976.

Nishimura, Susumu. "Fission Track Dating of Archaeological Materials from Japan," Nature. 230 : 242 - 243, March, 1971.

Price, P.B. and R.M. Walker. "Fossil Tracks of Charged Particles in Mica and the Age of Minerals," Journal of Geophysical Research. 68 : 4847 - 4862, August, 1963.

Watanabe, Naotune and Masao Suzuki. "Fission Track Dating of Archaeological Glass Materials from Japan," Nature. 222 : 1057 - 1058, June, 1969.

การพัฒนาเทคนิคและวิธีการของฟิชชันแทรคเตทติ้ง เพื่อใช้ในการกำหนดอายุของวัตถุโบราณที่เป็นแก้วบางชนิด

บทคัดย่อ

ของ

สุคนธ์ มากสันทร์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

กันยายน 2524

จุดมุ่งหมายของการวิจัยครั้งนี้ก็เพื่อพัฒนาเทคนิคและวิธีการของฟิชชั่นแทรคเตทติ้ง เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดอายุของลูกปัดที่เป็นแก้วจำนวนสามตัวอย่าง คือ ลูกปัดเม็ดใหญ่ ลูกปัดเม็ดเล็กจากบ้านเชียง และลูกปัดเม็ดเล็กจากอู่ทอง โดยเน้นหนักเกี่ยวกับการหาเงื่อนไขในการเตรียมตัวอย่างให้สามารถสังเกตเห็นรอยได้ จากผลการทดลองใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริคที่ความเข้มข้น 48, 30 และ 20 เปอร์เซ็นต์ กัดผิวในเวลาต่าง ๆ กัน พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด คือ การกัดผิวในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริคเข้มข้น 48 เปอร์เซ็นต์ เวลา 20 - 30 วินาที และคำนวณอายุได้ดังนี้

ลูกปัดเม็ดใหญ่จากบ้านเชียงอายุ 34,000 ± 4,200 ปี

ลูกปัดเม็ดเล็กจากบ้านเชียงอายุ 100,000 ± 35,900 ปี

ลูกปัดเม็ดเล็กจากอู่ทองอายุ 270,000 ± 12,900 ปี

DEVELOPMENT OF TECHNIQUE AND METHOD FOR FISSION TRACK DATING OF SOME ARCHAEOLOGICAL GLASS MATERIALS

AN ABSTRACT

BY

SUKHON MAKCHAN

Present in partial fulfillment of the requirements

for the Master of Education degree

at Srinakharinwirot University

September 1981

The purpose of this research is to apply the Fission Track Dating Technique to some archaeological glass materials. The ages of three kinds of archaeological glass materials; big and small beads from Banchiang and small beads from U-Thong were determined. Different conditions of etching were studied in order to find the most suitable time, temperature and concentration of Hydrofluoric acid as the etching reagent. By using 48% HF solution for 20 - 30 seconds at 23 °C, the three samples were etched. The ages were determined as follows;

1. 34,000 ± 4,200 years for the big beads from Banchiang.
2. 100,000 ± 35,900 years for the small beads from Banchiang.
3. 270,000 ± 12,900 years for the small beads from U-Thong.