660.298
ก 288 ก
5 3

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอายุของโบราณวัตถุที่หาโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง กับหลักฐานทางโบราณคดีจากบ้านดูเมืองและโคกพนมดี

ปริญญานิพนธ์

ของ

โกษา แพทย์รังษี

26 ธ.ค. 2524

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

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
25 กันยายน 2523

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

85269

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอายุของโบราณวัตถุที่หาโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง กับหลักฐานทางโบราณคดีจากบ้านดูเมืองและโคกพนมดี

บทคัดย่อ

ของ

โกษา แพทย์รังษี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

25 กันยายน 2523

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอายุของโบราณวัตถุที่หาโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง กับหลักฐานทางโบราณคดีจากบ้านกู่เมืองและโคกพนมดี

โบราณวัตถุที่นำมาหาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง ต้องมีการ์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ถ่าน, กระดูก, ฟอย เป็นต้นจึงจะสามารถหาอายุโดยวิธีนี้ได้ เนื่องจากวิธีการสลายตัวของการ์บอน-14 ที่มีอยู่ในโบราณวัตถุและสังเคราะห์เบนซีนจากตัวอย่างโบราณวัตถุเพื่อใช้ในการหาความแรงรังสีโดยใช้เครื่องมือวัดรังสีแบบ Liquid Scintillation Counter ซึ่งนำความแรงรังสีที่หาได้นั้นมาคำนวณหาค่าอายุตามกฎการสลายตัว (Decay Law) ของสารกัมมันตรังสี การสังเคราะห์เบนซีนมีทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ 1. เปลี่ยนตัวอย่างโบราณวัตถุเป็นการ์บอนไดออกไซด์ 2. เปลี่ยนการ์บอนไดออกไซด์เป็นการ์ไบด์ 3. เปลี่ยนการ์ไบด์เป็นอเซทีลีน 4. เปลี่ยนอเซทีลีนเป็นเบนซีน การสังเคราะห์เบนซีนอาศัยเครื่องมือของกองเคมี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ผลของการตรวจอายุ (ปีก่อน ค.ศ. 1950) ของโบราณวัตถุที่บ้านกู่เมืองมีอายุระหว่าง 900 - 5,200 ปี และโคกพนมดีมีอายุระหว่าง 1,800 - 7,200 ปี ทั้งสองแห่งนี้พบว่า อายุของโบราณวัตถุในหลุมเดียวกันมีอายุเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกของชั้นดินมากขึ้น และบางชิ้นมีอายุขัดแย้งกับระดับความลึกของชั้นดิน อาจจะเนื่องมาจากการรบกวนชั้นดินของมนุษย์ หรือ เกิดน้ำท่วม หรือ การหมุนเวียนของน้ำใต้ดิน หรือ การปะปนของการ์บอนเก่า หรือ การ์บอนใหม่

STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE AGE OF THE ARTIFACTS AND ARCHAEOLOGICAL FEATURE IN BAN KHU MUANG AND KHOK PHANOM DI BY RADIOCARBON DATING METHOD

AN ABSTRACT

BY

KOSA PATARUNGSEE

Presented in partial fulfillment of the requirements

for the Master of Education degree

at Srinakharinwirot University

25 September 1980

Study of The Relationship Between The Age of The Artefects And Archaeological Feature in Ban Khu Muang And Khok Phanom Di By Radiocarbon Dating Method

Determination of Age of Artefects by radiocarbon dating method, it must compose of carbon such as charcoals, bones, shells and so on. Cause of disintegration of C-14 and synthesis of benzene that there is in artefects which used to examine C-14 activity by using Liquid Scintillation Counter. And then use the result of C-14 activity to calculate the age of artefects according to the Decay Law of radioactive element. There are four steps of synthesis of benzene :

1. Change the sample of artefect to carbondioxide.
2. Change carbondioxide to carbide.
3. Change carbide to acetylene.
4. Change acetylene to benzene.

Synthesis of benzene can do by men of using apparatus of Chemistry Division in office of Atomic Energy for Peace. The result of examining the age of the artefects of Ban Khu Muang (B.P.) is about 900 - 5,200 year and the artefects of Khok Phanom Di is about 1,800 - 7,200 year. Both are found that the age of artefects in the same hole are older and older according to the depth of soil. Some artefect, the age and the depth of soil are against each others. In this case, soil stratification may be change by man, flooded, circulation of undergroundwater or by contaminating of old carbon and modern carbon.

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

.....ประธาน

.....กรรมการ

.....กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาให้คำแนะนำและร่วมมือของประธานที่ปรึกษา อาจารย์มานิตย์ ช้อนสุข นักเคมีชำนาญการ แห่งสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติและอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ร.ท.สมเกียรติ กรีทอง แห่งภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร กับ ผศ.ปรีชา กาญจนาคม แห่งคณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.กรรณิกา วิริเสนา ผู้อำนวยการกองเคมี, กุณลรวิศ แซ่จิ้น และข้าราชการในสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำ รวมทั้งอาจารย์ชาติชาย ร่มฉนธ์ และอาจารย์ดารงเกียรติ นกสกุล ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างโบราณวัตถุในการวิจัยพร้อมคำแนะนำเกี่ยวกับโบราณคดี

โกษา แพทย์รังษี

สารบาญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	คำนำ	1
	ความมุ่งหมายในการศึกษาวิจัย	3
	ความสำคัญในการศึกษาวิจัย	3
	ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ	4
	เอกสารอ้างอิงเกี่ยวข้องกับการวิจัย	5
2	ทฤษฎี	12
	คาร์บอน-14 ในธรรมชาติ	12
	การหาอายุของโบราณวัตถุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง	13
	ครึ่งชีวิตและชีวิตเฉลี่ยของคาร์บอน-14	17
	สารมาตรฐานและตัวอย่างโบราณวัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์	17
	การคำนวณหาอายุของโบราณวัตถุโดยใช้กฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี	22
	ความคลาดเคลื่อนในการหาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงและแก้ไขความคลาดคลื่อนนี้	24
3	วิธีดำเนินการทดลอง	27
	เตรียมตัวอย่างโบราณวัตถุ	27
	การสังเคราะห์เบนซีนจากตัวอย่างโบราณวัตถุและสารมาตรฐานกรดออกซาลิก	29

บทที่ หน้า

การนับจำนวนรังสีของคาร์บอน-14 31
การคำนวณหาอายุ 36
น้ำอายุของโบราณวัตถุที่หาโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเทคนิคเปรียบ-
เทียบกับอายุทางโบราณคดีที่ได้จากการศึกษารูปแบบทางศิลป ' . 38
นำอายุของโบราณวัตถุที่สัมพันธ์กับทางโบราณคดีมาเปรียบเทียบ . 38
4 ผลของการวิจัย 39
ผลการวิจัยที่บ้านกู่เมือง ต.ช่วยขัน อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี 39
ผลการวิจัยที่โคกเพนมดี ต.ท่าข้าม อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี 48
5 บทย่อ สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ 57
บทย่อ 57
สรุปผลการวิจัย 58
ข้อวิภาคที่อาจเกิดจากการวิจัย 61
อภิปรายผลการวิจัย 62
ข้อควรระวังและข้อเสนอแนะ 70

บรรณานุกรม 71

ภาคผนวก 76

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	การสังเคราะห์เบนซีน, ผล, เวลาที่ทำปฏิกิริยา	8
2	แสดงถึงปริมาณของตัวอย่างโบราณวัตถุชนิดต่างๆที่จะนำมาหาอายุได้ ...	26
3	แสดงถึงชนิดของโบราณวัตถุ, เดือนปีที่ขุด, หลุม, ระดับความลึกของชั้นดิน	27
4	แสดงถึงชนิดของโบราณวัตถุ, ความลึกของชั้นดินที่โลกพนมดี	28
5	แสดงถึงอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงในระดับความลึกต่างๆ	39
6	แสดงถึงอายุของโบราณวัตถุชิ้นที่ขุดพบและกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปในระดับความลึกต่างๆ	42
7	เปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงกับโบราณวัตถุที่เป็นหลักฐานทางโบราณคดีกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปในหลุม A XVII'	44
9	เปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงกับโบราณวัตถุที่เป็นหลักฐานทางโบราณคดีกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปในหลุม B XVII'	45
9	เปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงกับโบราณวัตถุที่เป็นหลักฐานทางโบราณคดีกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปในหลุม C XVII'	46
10	เปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงกับโบราณวัตถุที่เป็นหลักฐานทางโบราณคดีกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปในหลุม D XVII'	47

ตาราง หน้า

11 แสดงถึงอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงที่โคกพนมดี 48

12 แสดงถึงโบราณวัตถุที่สามารถนำมากำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลป . 49

13 เปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงกับโบราณวัตถุที่เป็นหลักฐานทางโบราณคดีกำหนดโดยอาศัยรูปแบบทางศิลป ระดับความลึก 210 - 800 เซนติเมตร 53

14 แสดงถึงอายุของตัวอย่างโบราณวัตถุที่ถ้ำเขาทะลุ ซึ่งกำหนดอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง 64

15 แสดงถึงกำหนดอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงของโนนทกกา 64

16 แสดงถึงหลุม, ระดับความลึกของชั้นดิน, ชั้นดินและอายุของโบราณวัตถุที่แหล่งโบราณคดีบ้านคูเมือง 65

17 แสดงถึงชั้น, ระดับความลึกของชั้นดิน, ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบและอายุของโบราณวัตถุที่แหล่งโบราณคดีโคกพนมดี 65

18 แสดงถึงผลของการปะปนของคาร์บอนใหม่ในตัวอย่างปริมาณต่างๆ 68

19 แสดงถึงผลของการปะปนของคาร์บอนเก่าในตัวอย่างปริมาณต่างๆ 69

20 แสดงถึงข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดอายุของโบราณวัตถุจากแหล่งโบราณคดีบ้านคูเมือง 77

21 แสดงถึงข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดอายุของโบราณวัตถุจากแหล่งโบราณคดีโคกพนมดี 81

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1 อายุของ Sequoias และ Bristle Pine ของแต่ละวงปีหาโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงกับอายุของวงปีทั้งสองที่ทราบอายุ 9

2 แสดงแผนผังวงจร Liquid Scintillation Counter แบบ Coincidental Counting 22

3 เครื่องมือเตรียมกาซคาร์บอนไดออกไซด์ (สันดาป) 32

4 เครื่องมือเตรียมกาซคาร์บอนไดออกไซด์ (ทำให้บริสุทธิ์) 33

5 เครื่องมือเตรียมคาร์ไบด์และอเซทีลีน 34

6 เครื่องมือเตรียมเบนซีน 35

7 แสดงแผนผังของชั้นดิน, ตำแหน่งของโบราณวัตถุที่อยู่ในชั้นดินต่างๆที่แหล่งโบราณคดีบ้านคูเมือง 41

8 แสดงถึงแผนผังของชั้นดิน, ตำแหน่งของโบราณวัตถุที่อยู่ในชั้นดินต่างๆที่แหล่งโบราณคดีโคกพนมดี 52

9 แผนผังการขุดค้นเมืองโบราณที่บ้านคูเมือง ต.ห้วยชัน อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี 87

10 ภาพถ่ายทางอากาศแสดงที่ตั้งของโคกพนมดี ต.ท่าข้าม อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี 89

บทที่ 1

บทนำ

ความนำ

ปัจจุบันการค้นคว้าวิจัยทางด้านโบราณคดีของประเทศไทย ได้รับความสนใจจากนักโบราณคดีไทยและนักโบราณคดีชาวต่างประเทศมากขึ้น ได้มีการขุดค้นบริเวณต่างๆซึ่งคาดว่าจะเป็นแหล่งอารยธรรมโบราณ โดยเฉพาะกรมศิลปากรและคณะโบราณคดีมหาวิทยาลัยศิลปากร ได้ดำเนินการด้านนี้ สำหรับการค้นหาอดีตของมนุษย์เป็นการหาหลักฐานเพื่อแสดงถึงสภาพสังคมในอดีต (ชวลิต เอนะวงศ์ 2519 : 6-15) ซึ่งการค้นคว้าวิจัยทางด้านนี้ปัญหาสำคัญก็คือยุคและปัญหาที่สำคัญมาก็ตามมาได้แก่ การกำหนดค่าอายุของโบราณวัตถุที่ขุดขึ้นมาเป็นเรื่องที่ใหญ่มากของนักโบราณคดี เนื่องจากมีการกำหนดอายุได้หลายแบบ และโดยมากยังรูปแบบทางศิลปะแต่เพียงอย่างเดียวนั้นนับว่าไม่เป็นหลักที่เพียงพอ ดังนั้นจึงมีการนำเอาเทคนิค หรือวิทยาการ ทางวิทยาศาสตร์เข้าช่วยในการกำหนดค่าอายุซึ่งมีอยู่หลายแบบที่นำมาใช้แล้วแต่ความเหมาะสมตามสภาพของโบราณวัตถุ ได้แก่ การทดสอบฟลูออรีน, การใช้โปรตอนแบกนีโตมิเตอร์, เทอร์โมลูมิเนสเซนส์, การใช้วิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง เป็นต้น สำหรับวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง นักโบราณคดียอมรับเป็นวิธีการกำหนดค่าอายุของโบราณวัตถุ เมื่อราวปี ก.ศ. 1950 (มิทเชล 1972 : 148-167) ซึ่งลิบบี้ (Libby) เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่เสนอเทคนิคการกำหนดค่าอายุแบบนี้ และต่อมาได้มีการพัฒนาเพื่อที่จะทำให้การกำหนดค่าอายุได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ในประเทศไทยเทคนิคการกำหนดแบบนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้กำหนดค่าอายุแต่มีความยุ่งยาก เนื่องจากไม่สามารถที่จะหาได้ในประเทศต้องส่งตัวอย่างต่างๆไปต่างประเทศที่มีเครื่องมือสำหรับเทคนิคนี้ จนกระทั่งปี ก.ศ. 1975 (พ.ศ. 2518) สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติได้สร้างเครื่องมือสำหรับใช้เทคนิคนี้ โดยนายเยาวรัช ศิริวุฒิสันต์ นักเคมี-

นิวเคลียร์ และจำนักงานเป็นผู้สร้างเครื่องนับนี้ขึ้น เพื่อใช้ในงานกำหนดค่าอายุ

สำหรับการกำหนดอายุโดยวิธีนี้มีข้อจำกัดว่า โบราณวัตถุที่ขุดมาจะต้องเป็นโบราณวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจึงจะสามารถที่ใช้วิธีนี้ได้ โดยการสลายตัวของคาร์บอนที่เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี คือ คาร์บอน-14 ด้วยเหตุนี้จะต้องนับรังสีจากคาร์บอน-14 ที่มีอยู่ในตัวอย่างโบราณวัตถุจึงจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนตัวอย่างโบราณวัตถุให้เป็นสารประกอบที่เหมาะสมสำหรับการนำไปนับรังสี เช่นที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ อะซีทีลีน, มีเทน ปัจจุบันใช้เบนซีนเป็นสารประกอบที่เหมาะสมในการนับรังสี เพราะเบนซีน 1 โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 6 อะตอม และมีสถานะเป็นของเหลวง่ายต่อการนำไปวัดนับรังสีมากกว่าสารประกอบอื่น วิธีการนี้สามารถที่กำหนดอายุของโบราณวัตถุได้ในช่วงอายุไม่เกิน 60,000 ปี หรือประมาณ 10 เท่าครึ่งชีวิตของคาร์บอน-14 (ครึ่งชีวิตของคาร์บอนเท่ากับ 5,730 ± 40 ปี) และการนับรังสีใช้เครื่องนับแบบ Liquid Scintillation Counter

๒. **แหล่งประวัติศาสตร์ที่น่าสนใจ 2 แห่งคือ บ้านคูเมือง ต.ห้วยชัน อ.อินทร์บุรี** จ.สิงห์บุรี กับโคกพลีด ต.ท่าข้าม อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี สำหรับบ้านคูเมืองนี้มีชุมชนโบราณสมัยทราวดีอยู่ชุมชนหนึ่งที่ควรศึกษา เพื่อจะได้ทราบถึงสภาพชีวิตความเป็นอยู่และอย่างถ่องแท้และถ่องแท้ยิ่งกรรมในการทำเครื่องมือเครื่องใช้ ฯลฯ (ผศ.ศรีศักดิ์ วัลลิโภดม 2522 : 1) และที่โคกพลีดมีร่องรอยพฤติกรรมของมนุษย์ตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ คือ เปลือกหอย, ก้ามปูทะเล, กระดูกปลาและเศษภาชนะดินเผาตายเรื่อยมาตาม บนพื้นดินและตามชั้นดินเป็นจำนวนมาก (ธรรัย ศิลป์ 2522 : 71-76) ทั้งสองแห่งมีลักษณะคล้ายคลึงกันดังแผนที่ในภาคผนวก (หน้า 87, 89) เป็นเนินดินที่มีระดับสูงกว่าพื้นดินโดยรอบ มีร่องรอยพฤติกรรมของมนุษย์ในอดีต ซึ่งอยู่ในบริเวณหนึ่งใกล้และเหมาะแก่การอยู่อาศัย ห่างจากบริเวณซึ่งใกล้และเหมาะกว่าแต่ไม่ใกล้ลำน้ำ ผู้วิจัยมีความสนใจเกี่ยวกับความเป็นมาของบริเวณทั้งสองนี้ว่า บริเวณใกล้จะมีอายุของการเป็นที่อยู่อาศัยของมนุษย์มาก่อนกัน มีความใกล้เคียงกันหรือไม่ โดยอาศัยการ

กำหนดอายุของโบราณวัตถุที่ขุดได้โดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง สิ่งนำตัวอย่างโบราณวัตถุจำพวกถ่าน, หอย, กระดูกที่ขุดได้มาทำการกำหนดอายุโดยวิธีนี้ บริเวณบ้านคูเมือง นั้นทางคณะโบราณคดีเป็นผู้ดำเนินการขุดค้นโครงการปรับปรุงบริเวณนี้เป็นอุทยานทางประวัติศาสตร์ ส่วนทางโคกพนมดีนั้นทางนายสารังเกียรติ นครกุล อาจารย์วิทยาลัยครูจะเข้ามาเป็นผู้ดำเนินการขุดค้น สำหรับการนำตัวอย่างโบราณวัตถุมาเปลี่ยนเป็นสารประกอบเบนซีน ได้ใช้เครื่องมือสังเคราะห์เบนซีนและเครื่องมือสังเคราะห์ของกองเคมี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

<u>จุดมุ่งหมายของการศึกษาวิจัย</u>

1. หาอายุของโบราณวัตถุจากบ้านคูเมือง ต.ห้วยชัน อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี และโบราณวัตถุจากโคกพนมดี อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี โดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง

2. หาความสัมพันธ์ระหว่างวัฒนธรรมของมนุษย์กับอายุของโบราณวัตถุที่ขุดได้จากบ้านคูเมืองและโคกพนมดี

3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอายุของโบราณวัตถุที่สัมพันธ์กับหลักฐานทางโบราณคดีอย่างอื่น

<u>ความสำคัญของการวิจัย</u>

1. ทราบอายุของโบราณวัตถุที่นำมาหาอายุเพื่อเปรียบเทียบกับหลักฐานทางโบราณคดี

2. ทราบถึงวิธีการหาอายุของโบราณวัตถุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง

3. นำไปใช้ประโยชน์ในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์และวิธีการกำหนดค่าอายุของโบราณวัตถุได้

ขอบเขตของการวิจัย

1. โบราณวัตถุที่นำมาเป็นตัวอย่างในการหาค่าอายุ ได้แก่ ถ่าน, หยย, กระดูกที่ขุดได้จากบ้านกู่เมือง ต.ด้วยชัน อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี และโกดนนดี ต.ท่าข้าม อ.พรหมบุรี จ.สิงห์บุรี

2. การหาค่าอายุของโบราณวัตถุจะใช้วิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติ้งและรูปแบบทางศิลป

3. เป็นการศึกษาทางด้านปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis) และเปรียบเทียบ

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. โบราณวัตถุ คือ ถ่าน, หยย, กระดูก, และสิ่งของต่างๆที่ขุดได้จากบ้านกู่เมือง ต.ด้วยชัน อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี และโกดนนดี ต.ท่าข้าม อ.พรหมบุรี จ.สิงห์บุรี

2. ครึ่งชีวิต (Half life) คือ ระยะเวลาที่นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวไปรังสีหรืออนุภาคอื่นออกมาจนเหลือปริมาณรังสีเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณอนุภาคเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม

3. ชีวิตเฉลี่ย (Mean life) คือ ระยะเวลาที่นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอายุทั้งหมดหารด้วยจำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีเริ่มแรกหรือระยะเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวจนเหลือปริมาณของธาตุกัมมันตรังสี 37 % ของปริมาณเริ่มแรก

4. Scintillation คือ การเกิดประกายแสงของสารขึ้นเนื่องจากการกระตุ้นของรังสีของธาตุกัมมันตรังสี

5. Liquid Scintillation Counter คือ เครื่องมือวัดปริมาณรังสีเบต้า ซึ่งในการวัดต้องผสมสารอื่นเป็นตัวกลางที่จะทำให้เกิด Scintillation

เพื่อนำไปใช้นับรังสีและสารละลายที่ใช้นับรังสีเป็นของเหลวประกอบด้วยตัวทำละลาย และสารเรืองแสง เพื่อจะทำการวัดปริมาณรังสีก็ใส่ตัวอย่างที่ร่วมนับรังสีลงไปในการเตรียมนี้

6. สารเรืองแสง คือ สารประกอบใดๆเมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสีจะเกิดการเรืองแสง

7. สารที่ร่วมนับรังสี คือ สารประกอบใดๆที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้ในการวัดปริมาณรังสี

8. B.P.(Before Present) คือ อายุของโบราณวัตถุซึ่งนับอายุก่อนปี ค.ศ. 1,950

<u>เอกสารอ้างอิงเกี่ยวกับการวิจัยค้นคว้า</u>

ลิบบี้และคณะ (Libby and others. 1947 : unpaged) ได้เสนอวิธีหาอายุโบราณวัตถุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเจ็ดสิบ ซึ่งมีความสำคัญต่อโบราณคดีและธรณีวิทยา เนื่องจากสามารถหาอายุของโบราณวัตถุได้หมื่นปี แม้ว่าจะมีอายุหลายพันปีก็ตาม วิธีการของเขาคือ เปลี่ยนตัวอย่างโบราณวัตถุให้เป็นกราไฟต์ คาร์บอนไดออกไซด์ แล้วทำการวัดความแรงรังสีของคาร์บอน-14ด้วยเครื่องนับรังสีชนิด Proportional Chamber Counter

ซัวส์ (Suess. 1954 : 5-7) ได้ปรับปรุงการหาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเจ็ดสิบ คือที่ใช้นับรังสีเดิมนั้นใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เปลี่ยนเป็นอะเซทีลีนซึ่งเขาได้จากการทดลอง 65 ตัวอย่าง สำหรับการวัดปริมาณรังสีของคาร์บอน-14 จากอะเซทีลีนเทคนิคในการวัดเช่นเดียวกับการวัดจากคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับอะเซทีลีนที่เขาเตรียมมีขั้นตอนดังนี้

1. สารอินทรีย์ (ไม้, ถ่าน, อื่นๆ) + O_2 ——→ CO_2

คาร์บอเนต (CaC)

2. $CO_2 + 2NH_4OH \longrightarrow CO_3(NH_4)_2 + H_2O$

3. $CO_3(NH_4)_2 + SrCl_2 \longrightarrow SrCO_3 + 2NH_4Cl$

4. $2SrCO_3 + 5Mg \longrightarrow SrC_2 + 5MgO + SrO$

5. $SrC_2 + 2H_2O \longrightarrow C_2H_2 + Sr(OH)_2$

เอทธีลีนที่เกิดขึ้นเราจับด้วยเครื่องดักที่แช่ในโกร [illegible] และเมื่อทำให้บริสุทธิ์แล้ว นำไปวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่องนับรังสีแบบ Proportional Chamber Counter และโดยวิธีการเครื่องมือนี้สามารถเตรียมอเซทธีลีนจากการบอน-ไดออกไซด์ได้เกือบร้อยเปอร์เซ็นต์

ราฟเตอร์ และ เฟอร์เกอร์สัน (Rafter and Furguson. 1957 : 871-883) ได้ทำการวัดปริมาณรังสีของการ์บอน-14 ในบรรยากาศของเซาว์เทิร์น เฮมิสเฟียร์ ปรากฏว่าปริมาณรังสีมีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากที่ได้มีการระเบิดของระเบิดปรมาณู ปี ค.ศ. 1954 ในเดือนมิถุนายน ค.ศ. 1957 มีค่าเพิ่มขึ้น 1. ± .3 % และในไบโอสเฟียร์ ก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งเขาอธิบายว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณรังสีของบรรยากาศเกิดเนื่องจากการทดลองระเบิดปรมาณู จะทำให้อัตราส่วนของ $^{14}C/^{12}C$ ในบรรยากาศและในสิ่งมีชีวิตเพิ่มขึ้น

แทมเมอร์ (Tammer. 1962 : 668-669) ปรับปรุงการหาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติ้ง เปลี่ยนการนับรังสีในรูปของก๊าซมาเป็นการนับรังสีในรูปของของแข็ง โดยการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้มาจากตัวอย่างให้เป็นเบนซีนซึ่งมีขั้นตอนของการเตรียมดังนี้

1. คาร์บอน + $O_2 \longrightarrow CO_2$

2. $CO_2 + 2NH_4OH \longrightarrow (NH_4)_2CO_3 + H_2O$

3. $(NH_4)_2CO_3 + BaCl_2 \longrightarrow BaCO_3 + 2NH_4Cl$

4. $BaCO_3 + 5Mg \longrightarrow BaC_2 + BaO + 5MgO$

5. $BaC_2 + 2H_2O \longrightarrow Ba(OH)_2 + C_2H_2$

6. $3C_2H_2 \longrightarrow C_6H_6$ (at 650° c)

เบนซีนที่สังเคราะห์ได้นี้เป็นตัวทำละลายที่ดีของสารเรืองแสงที่ใช้ประกอบในการนับรังสีแบบ Liquid Scintillation Counter ซึ่งวิธีนี้มีประสิทธิภาพในการนับประมาณ 40 %

โนวเคส และ คณะ (Noakes and others. 1967 : 1094-1096) ทำการวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับการปรับปรุงการสังเคราะห์เบนซีนในแง่ที่เกี่ยวกับชนิดของตะตะไลส์ที่ใช้เพื่อสามารถสังเคราะห์เบนซีนได้เพิ่มขึ้น มีความบริสุทธิ์มากขึ้น และเวลาในการเปลี่ยนให้เป็นเบนซีนน้อยลง แต่เดิมตะตะไลส์ที่ใช้คือ ใช้ Silica Alumina Diborane ซึ่งสามารถเปลี่ยนอเซทีลีนไปเป็นเบนซีนได้เพียง 60 % และมีการใช้ไดบอเรน (Diborane) เกิดขึ้นด้วย จึงเปลี่ยนมาใช้แวนนาเดียมออกไซด์ที่เคลือบอยู่บริเวณผิวของวัตถุพา ปรากฏว่าสามารถเปลี่ยนอเซทีลีนเป็นเบนซีนได้มากกว่า 90 % และสามารถนำเอาตะไลส์ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ได้ใหม่โดยนำตะตะไลส์ไปสกัดด้วย Petroleum Ether เพื่อสกัดเอา High Molecular Weight Hydrocarbon ซึ่ง Side Product ออกไปเสียก่อน สามารถเพิ่มปริมาณของเบนซีนขึ้นอยู่กับอเซทีลีน โดยมีสารอเซทีลีน 1 ส่วน ต่อ P_2O_5 5 ส่วน ถ้าอัตราส่วนนี้ยังคงที่ ตะตะไลส์จะทำงานได้ดีขึ้นเรื่อยๆ ถึงแม้ว่าการไหลของอเซทีลีนจะไม่ทำเป็นต้องคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพียง 1/10 ของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาสังเคราะห์แวนนาเดียมออกไซด์ โดยเขาใช้ 100° ซ ทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นเวลาเพียงชั่วโมง ขั้นตอนของการสังเคราะห์มีดังนี้

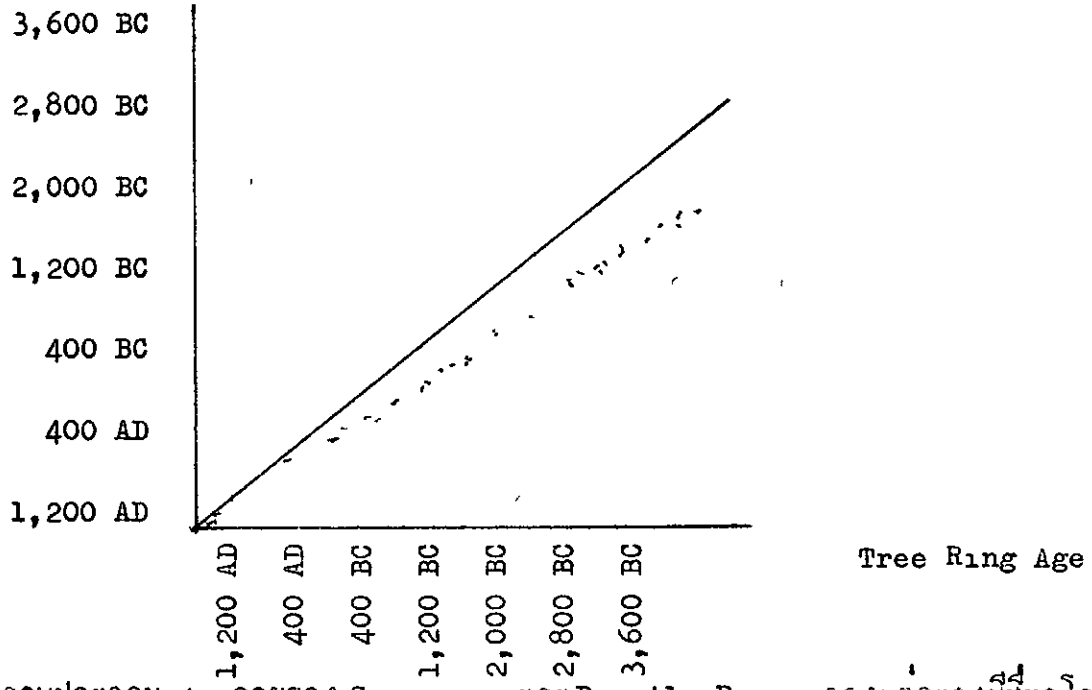
ตาราง ๑ การสังเคราะห์เบนซีน, ร้อย, เวลาที่ทำปฏิกิริยา

สมการ	ผล (%)	เวลา(นาที)
<u>เตรียมจากไฮดรอกไซด์</u>		
$C + O_2 \longrightarrow CO_2$	98 - 100	30 - 60
$CO_3^{2-} + 2H^+ \longrightarrow CO_2 + H_2O$		
<u>เตรียมจากคาร์ไบด์</u>		
$2C + 2Li \longrightarrow Li_2C_2$		120 - 180
$2CO_2 + 10Li \longrightarrow Li_2C_2 + 4Li_2O$		
$Li_2C_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2 + 2LiOH$	95 - 98	30 - 45
<u>เตรียมเบนซีน</u>		
$3C_2H_2 \xrightarrow{Vanadium} C_6H_6$	80 - 98	30 - 45
รวม	75 - 96	210 - 315

โพแลช (Polash. 1970 : 1-7) ได้ทำการปรับปรุงการสังเคราะห์เบนซีนเพื่อใช้ในการกำหนดค่าอายุวิธีเรดิโอคาร์บอนเท่านั้น โดยเปลี่ยนตัวอย่างเป็นคาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์เป็นคาร์ไบด์จากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 750°ซ แล้วไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำกลั่นจะได้อเซทิลีนไปสังเคราะห์

เบนซีนโดยมี Vanadium - Activated Alumina Catalyst นำเบนซีนที่สังเคราะห์ได้นำไปทำการวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่องมือนับรังสีแบบ Liquid Scintillation Counter

แรฟ (Ralp. 1970 : 90- 98) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กโลกที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอน-14จากตัวอย่าง Sequoias และ Bristle Pine ที่ทราบอายุ เขาหาอายุของแต่ละวงปีของมันพบว่า ปริมาณคาร์บอน-14ของแต่ละวงปีจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังภาพประกอบ 1 แสดงถึงอายุของวงปีกับอายุของตัวอย่างที่หาโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง มีค่าเบี่ยงเบนไป มิได้เกิดในอัตราคงที่ตลอดไป



ภาพประกอบ 1 อายุของ Sequoias และ Bristle Pine ของแต่ละวงปีที่หาโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงกับอายุของวงปีทั้งสองที่ทราบอายุ

บอสฮาร์ท และ ยัง (Bosshart and Young . 1972 : 1117-1121) ได้รายงานถึงการทำหาค่าการดูดซึมโดยใช้วิธีโอคซิเดชันแห้ง ซึ่งใช้ร่วมกับเทคนิคทางรังสีการวัดความแรงรังสีโดยใช้ Liquid Scintillation Counter เป็นเครื่องมือวัดนับรังสี เขาเปลี่ยนตัวอย่างให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารละลาย Ethanolamine แล้วดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซึมไว้ในสารละลายนี้ จากนั้นก็นำมาวัดปริมาณรังสีที่ปล่อย-14 ซึ่งเข้าทำปฏิกิริยาของอัตราส่วนของปริมาณรังสีที่ปล่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซึมได้ต่อปริมาณรังสีของคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบของสาร (ที่ได้โดยใช้ Gas Chromatography) กับปริมาณรังสีที่วัดได้ แสดงว่ามีประสิทธิภาพของการวัดปริมาณรังสีได้ 72 % ของเบนซีน

เบอร์เรย์ (Burleigh . 1972 : 111-119) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนตัวอย่างเป็นคาร์บอนไดออกไซด์โดยวิธี Bomb Combustion Method โดยนำตัวอย่างไปเผาในสารละลายรังสีที่เป็นโซดาไลม์ที่ปราศจากคาร์บอนและเติมออกซิเจนจนมีความดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้วแล้วจึงทำการระเบิดซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนตัวอย่างเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ เขาได้ทำการทดลองโดยใช้วิธีของสวิทเตอร์ (Switter . 1974 : 130-131) ได้ทำการเปลี่ยนตัวอย่างเป็นคาร์บอนไดออกไซด์โดยวิธี Bomb Combustion Method เช่นเดียวกัน ภายในภาชนะที่เรียกว่า Bertnolet Bomb ซึ่งทำให้พบตัวอย่างไม่ว่าตัวอย่างจะเป็นก๊าซ, ของเหลว, ของแข็ง

เบลลูโรมินี และ คณะ (Belluronamini and others . 1978 : 455-459) ได้ทำการวิเคราะห์เบนซีนจากตัวอย่างของน้ำมันดิบและน้ำมันดิบ ซึ่งการวิเคราะห์ของเขาเริ่มจากการเปลี่ยนตัวอย่างเป็นคาร์บอนไดออกไซด์, อีเทียมคาร์ไบด์ซึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ 700° ซ และอะเซทิลีนที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ จากนั้นนำไปเปลี่ยนเป็นเบนซีนโดยใช้โปตัสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) เป็นตะกอนซึ่งใช้ 20 กรัม ทำปฏิกิริยาที่ 100° ซ

เป็นเวลานานกว่าโดยเลี่ยงจัดน้ำออกและละลายใช้ในการเปลี่ยนอเซทที่ล่นเป็น
เบนซีน 90 นาที ได้ผลประมาณ 95 - 99 % ถ้าใช้เซทที่สิ้นสุดการทำงาน S.T.P
และละลายใช้งานรถยนต์ยังขาใช้ได้ไม่ดี ปฏิกิริยาเซทที่เกิดขึ้นเนื่องจาก
เซทที่มี ไฟรีลิวซ์ Cr (VI) เป็น Cr (IV) และ Cr (III) และมีการปลดปล่อย
เกิดขึ้นเป็นอัลเคล, อโรเมติกไฮโดรคาร์บอนที่ประยุกต์ทำเปลี่ยนเซนต์ของเซทที่ยังไม่ใช้
นอกจากนี้เขาพบว่า ความสองปฏิกิริยาเปลี่ยนเซทที่สิ้นเป็นเบนซีนรวมทั้ง By
Product ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับค่าสูงสุดที่ทำ สำหรับเซทที่มี 20 - 35 มิลลิโมล/ลิตร
และที่อุณหภูมิ 0 - 55° ซ พลังงานกระตุ้นมีค่าเท่ากับ -1.7 ± 0.3 กิโลแคลอรี่/โมล

การวิจัยในประเทศไทย

นายชวลิต ศิริบุปผัมภ์ (1975 : 1-60) ได้ทำการสร้างเครื่องวัดและ
ตั้งเกราะป้องกันจากตัวอย่างที่มาจากบ้านเมือง การตั้งเกราะป้องกันนี้ตั้งอยู่
ภายใต้ระบบสูญญากาศ ใช้ปฏิกิริยาเปลี่ยนตัวอย่างเป็นการ์บอนไดออกไซด์, การ์บอนไดออกไซด์
เป็นการ์ไบด์แล้วไฮโดรไลซ์การ์ไบด์เป็นอเซทิลีนและเปลี่ยนอเซทิลีนเป็นเบนซีน
โดยใช้วานาเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เบนซีนที่ได้นำไปวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่องมือวัดรังสี
แบบ Liquid Scintillation Counter โดยวัดปริมาณคาร์บอน-14 ได้ค่าเท่ากับ 5,551 ± 157 ปี

บทที่ 2

ทฤษฎี

คาร์บอน-14 ในธรรมชาติ

1. การเกิดคาร์บอน-14 ในธรรมชาติ

คาร์บอน-14 ที่มีปรากฏอยู่ในธรรมชาติซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบต่างๆ ทั้งในบรรยากาศ, น้ำ, สัตว์และอื่นๆ เกิดจากไนโตรเจน-14 ที่มีอยู่ในบรรยากาศถูกชนด้วยนิวตรอนที่มีพลังงานต่ำ ซึ่งนิวตรอนนี้เกิดจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกชนิดปฐมภูมิจากนอกโลกส่วนมากเป็นโปรตอนและอนุภาคอัลฟาเป็นส่วนน้อย เมื่อปะทะกับนิวเคลียสของอะตอมของธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของสารในบรรยากาศ เช่นออกซิเจน จะได้รังสีคอสมิกชนิดปฐมภูมิ รังสีคอสมิกชนิดปฐมภูมิที่สำคัญ คือ นิวตรอน, โปรตอน และไพเมซอน นิวตรอนนี้จะไปทำปฏิกิริยากับไนโตรเจน-14 ในบรรยากาศเกิดเป็นคาร์บอน-14 มีครึ่งชีวิตประมาณ 5,730 ปี สมการที่ใช้อธิบายการเกิดคาร์บอน-14 ดังนี้

$$^{14}_{7}C' + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H \qquad (1)$$

คาร์บอน-14 ที่เกิดขึ้นเป็นสารกัมมันตรังสี เช่นเดียวกับคาร์บอน-12 ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ จะเข้ารวมตัวกับออกซิเจนในบรรยากาศโดยรังสีเหนี่ยวนำเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้ $^{14}CO_2$ อยู่ในบรรยากาศ ทั้ง $^{14}CO_2$ และ $^{12}CO_2$ จะเข้าเป็นส่วนหนึ่งของสิ่งมีชีวิตตามวัฏจักรชีวิตทั่วไป (Normal Life Process) และสลายอยู่ในน้ำบนพื้นโลกในรูปของคาร์บอเนต, ไฮโดรเจนคาร์บอเนต และกรดคาร์บอนิก

2. การเกิดภาวะสมดุลของคาร์บอน-14 ในธรรมชาติ

คาร์บอน-14 ที่เกิดขึ้นมีการสลายตัวพร้อมๆกับคาร์บอน-14 เกิดขึ้น ซึ่งการสลายตัวเป็นไปตามกฎการสลายตัว (Decay Law) ของสารกัมมันตรังสี การสลายตัวของ

การ์บอน-14 เปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจน-14 ตามสมการโดยปล่อยรังสีบีตาออกมา ดังสมการ

$$^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + e^{-} \qquad (2)$$

การเกิดและการสลายตัวของการ์บอน-14 นี้เกิดขึ้นพร้อมกันตามการเกิดบรรยากาศของโลก ซึ่งอัตราของปริมาณทั้งสองนี้คือสมดุลที่ผ่านมายังโลกเป็นระยะนานๆ จะมีค่าคงที่ ดังนั้นความเข้มข้นของ $^{14}CO_2$ ในแหล่งต่างๆ ที่มีการแลกเปลี่ยนการ์บอน-14 บนโลกและในบรรยากาศมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังมีอัตราการเกิดและอัตราการสลายตัวของการ์บอน-14 มีค่าเท่ากันด้วย

ในบรรยากาศ การ์บอน-14 ที่เกิดขึ้นรวมตัวกับออกซิเจนเป็นการ์บอนไดออกไซด์ จะถูกพืชนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงและละลายในน้ำเมื่อมีฝนตก จะอยู่ในรูปการ์บอเนต ซึ่งเป็นการสูญเสียการ์บอน-14 ในบรรยากาศ และอัตราการสูญเสียการ์บอน-14 ในบรรยากาศรวมทั้งการสลายตัวด้วย จะมีค่าเท่ากับอัตราการเกิดของการ์บอน-14 มีค่าเท่ากัน การ์บอน-14 1 อะตอมต่อวินาทีต่อตารางเซนติเมตร

ในน้ำ จะมีการ์บอน-14 ละลายอยู่ในรูปของคาร์บอเนต, ไฮโดรเจนการ์บอเนต และอินทรีการ์บอนิก จะมีอัตราการสะสมกับอัตราการสลายตัวไปเท่ากันในพืชและสัตว์ สำหรับพืชจะต้องใช้ CO_2 ในบรรยากาศ เมื่อเกิดเป็นคาร์โบไฮเดรต จะมีการ์บอน-14 เป็นองค์ประกอบในสัตว์ด้วย ซึ่งปริมาณการ์บอน-14 ต่อกรัมการ์บอน ในพืชและสัตว์จะเป็นปริมาณเดียวกันกับปริมาณการ์บอน-14 ต่อกรัมการ์บอน ในบรรยากาศและน้ำในเวลาเดียวกัน ปริมาณการ์บอน-14 ต่อกรัมการ์บอน ควรจะเป็นปริมาณเดียวกันจนกระทั่งปัจจุบันนี้

<u>การหาอายุของโบราณวัตถุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเวทติง</u>

เนื่องจากพืชและสัตว์ที่มีชีวิตจะมีปริมาณการ์บอน-14 ต่อกรัมการ์บอนคงที่ ตลอดเวลา เพราะมีการแลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อมตลอดเวลา ซึ่งอยู่ในลักษณะสมดุล

เมื่อเทียบเรื่องอัตราการสลายของปริมาณสาร ระยะเวลา 14 ต่อครึ่งหนึ่งจะไม่คงที่เสมอ ไม่มีการแผ่รังสีเปลี่ยนกันอย่างรวดเร็วและจะมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ ตามกฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

1. <u>กฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี</u>

อัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับจำนวนอะตอมของสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ ณ เวลานั้นๆ

เขียนในรูปคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \qquad (3)$$

เมื่อ λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว

จากการอินทิเกรตสมการที่ 3 เทียบกับเวลาจะได้

$$\ln N = \lambda t + c \qquad (4)$$

เมื่อ λ = ค่าคงที่ตัวหนึ่ง

หรือ
$$N = e^{-\lambda t + c}$$
$$= e^{-\lambda t} \cdot e^{c} \qquad (5)$$

ถ้า $t = 0$, $N = No$, No = จำนวนอะตอมของสารกัมมันตรังสีเริ่มต้น แทนค่าลงในสมการที่ 5

$$No = e^{c}$$
$$\ln N = c \qquad (6)$$

แทนค่าสมการที่ 6 ลงในสมการที่ 4

$$\ln N = -\lambda t + \ln No$$
$$\ln \frac{N}{No} = -\lambda t$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{No}{N} \qquad (7)$$

ถ้า $N = \frac{1}{2}No$, t จะเป็นครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสี

ดังนั้น $$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \qquad (8)$$

อายุขัยเฉลี่ยของสารกัมมันตรังสี(Tm) คือ เวลาที่นิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีทั้งหมดที่มีอยู่ทั้งหมดในตัวอย่างนานเท่ากับเวลาของสารกัมมันตรังสีที่เริ่มต้น สลายตัว

เขียนในรูปอินทิเกรต

$$Tm = -\frac{1}{No} \int_{N=No}^{N=0} t\,dN \qquad (9)$$

จากสมการที่ 5

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$dN = -\lambda N dt$$

$$= (-\lambda) N dt$$

$$= (-\lambda\, dt)\ No e^{-\lambda t} \qquad (10)$$

ถ้าให้ $N = No$, $t = 0$, $t = \infty$, $N = 0$ และแทนค่าสมการที่ 10 ในสมการที่ 9

ดังนั้น $$Tm = -\frac{1}{\lambda} \int_{t=0}^{t=\infty} t(No e^{-t(-\lambda)})dt$$

$$= \int_{t=0}^{t=\infty} te^{-\lambda t} dt$$

$$= \left[-te^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} \right]_{t=0}^{t=\infty}$$

$$= \left[e^{-\lambda t}(t-1) \right]_{t=0}^{t=\infty}$$

$$= \frac{1}{\lambda} \qquad (11)$$

$$N_{Tm} = Noe^{-\lambda Tm}$$

$$= Noe^{-\lambda \frac{1}{\lambda}}$$

$$= Noe^{-1}$$

$$= 0.37\ No \qquad (12)$$

แทนค่า $Tm = \frac{1}{\lambda}$ ลงในสมการที่ 6

จะได้ $$t = Tm \ln \frac{No}{N} \qquad (13)$$

ถ้ากำหนดให้ความแรงรังสี (A) จะแปรผันโดยตรงกับจำนวนอะตอมของสารกัมมันตรังสี

$$t = Tm \ln \frac{Ao}{As} \qquad (14)$$

เมื่อ Ao = ความแรงรังสีเริ่มต้น และ As = ความแรงรังสีใดๆ

ครึ่งชีวิตและชีวิตเฉลี่ยของคาร์บอน-14

ครึ่งชีวิตของคาร์บอน-14 อยู่ช่วงระหว่าง 7,200 - 4,700 ปี ค่าครึ่งชีวิตแรกที่ยอมรับใช้เป็นค่าครึ่งชีวิตของคาร์บอน-14 มีค่าเท่ากับ 5,568 ± 30 ปี ซึ่งได้มาจากค่าเฉลี่ยของครึ่งชีวิต 3 ค่าของนักวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1. มีค่าเท่ากับ 5,580 ± 45 ปี (เอนเกลโทเงอร์, แฮมเฟิล, อินแกรม และลิบบี้)
2. มีค่าเท่ากับ 5,568 ± 75 ปี (ไจเนส)
3. มีค่าเท่ากับ 5,513 ± 165 ปี (มิลเลอร์, ฟิลเลปไลน์, เบอร์เกลไทน์, เฟรดแมน, ไบเออร์ และ กีแวน)

จากการประชุมเรื่องคาร์บอน ครั้งที่ 5 ปี ค.ศ. 1962 ตกลงใช้ค่าครึ่งชีวิตของคาร์บอน-14 ที่ค่าเท่ากับ 5,730 ± 40 ปี ซึ่งก็ได้จากการเฉลี่ยค่าครึ่งชีวิต 3 ค่า เช่นเดียวกัน คือ 5,500 ± 250 ปี (แอนเดอร์สัน และ นอร์ริส) 5,370 ± 210 ปี (ยอนเนอร์ และ เกอร์ดิส) และครึ่งชีวิตของลิบบี้ที่ทำการหาไว้มีค่าเท่ากับ 5,568 ปี

ส่วนค่าชีวิตเฉลี่ยของคาร์บอน-14 ถ้าใช้ครึ่งชีวิตคาร์บอน-14 5,568 ± 30 ปี จะมีค่าเท่ากับ 8,035 ± 43 ปี แต่ปัจจุบันใช้ค่าครึ่งชีวิตคาร์บอน-14 มีค่าเท่ากับ 5,730 ± 40 ปี จะมีค่าชีวิตเฉลี่ยเท่ากับ 8,268 ± 58 ปี

การหาอายุและตัวอย่างโบราณวัตถุที่ใช้ในการขุดเจาะ

ความแรงรังสีคาร์บอน-14 ในต้นไม้หรือสัตว์ที่มีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งน่าจะเป็นความแรงรังสีดั้งเดิมของคาร์บอน-14 ที่ใช้ในการหาอายุของวัตถุโบราณมาจากแก๊ส เบนซีน (C6) แต่เนื่องจากบรรยากาศเริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1890 ปริมาณคาร์บอน-12 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะมีการนำเชื้อเพลิงฟอสซิลและน้ำมันเบาใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งให้ผลกระทบต่อคาร์บอน-14 ในบรรยากาศและน้ำเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน (Industrial Effect) และในปี ค.ศ. 1952 เริ่มมีการทดลองอาวุธนิวเคลียร์

มีผลทำให้ปริมาณคาร์บอน-14 ในธรรมชาติเพิ่มขึ้น (Atomic Bomb effect) จากสาเหตุ 2 ประการนี้ จึงทำให้ปริมาณของคาร์บอน-14 ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ปริมาณความแรงรังสีคาร์บอน-14 ในต้นไม้ซึ่งตายมีชีวิตอยู่ในปัจจุบันเป็นความแรงรังสีเริ่มต้นของคาร์บอน-14 สำหรับการหาอายุได้ และด้วยเหตุนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำสารมาตรฐานที่ให้ความแรงรังสีคาร์บอน-14 เท่ากับความแรงรังสีคาร์บอน-14 ในธรรมชาติก่อนเกิด Atomic Bomb effect และ Industrial effect สารมาตรฐานดังกล่าวได้มาจากต้นไม้ที่มีชีวิตอยู่ในศตวรรษที่ 19 และถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดออกซาลิก โดย U.S. National Bureau of Standard สารมาตรฐานเป็นที่เรียกว่าเป็น International Primary Standard การวัดความแรงรังสีกรดออกซาลิกมาตรฐานนี้ ในปี ค.ศ. 1950 ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของความแรงรังสีที่ห้องปฏิบัติการ การหาอายุได้คาร์บอน-14 ต่างๆ ใช้กันอยู่มีค่าเท่ากับ 1.0526 เท่า เพื่อใช้กรดออกซาลิกมาตรฐานหลังจากเปลี่ยนความแรงรังสีที่วัดได้ ในวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1958

โบราณวัตถุที่นำมาใช้ในการหาอายุ สามารถหาอายุนั้นได้ถูกต้องเพียงใดขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการเก็บ, สมัยที่, ส่วนประกอบ, บริเวณที่โบราณวัตถุอยู่ เนื่องจากโบราณวัตถุที่นำมาหาอายุโดยเทคนิคนับรังสีคาร์บอน-14 มักจะเป็นสารอินทรีย์ อาจมีสารอินทรีย์อื่นที่มีอายุน้อยกว่าซึมกรองถูกชะล้างและมีการตกตะกอนเจือปนทั้งสิ้น ถูกน้ำชะเอาสารนั้นมาแทรกอยู่ในเนื้อของโบราณวัตถุทำให้อายุที่หาได้น้อยกว่าที่เป็นจริง การเก็บตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บ เช่น เครื่องขูด, ตัก, เจาะ, เลื่อย เป็นต้น ถูกระโหนด้วยน้ำมัน เมื่อทำการเก็บโดยเครื่องมือเหล่านี้ จะทำให้สารเหล่านี้เจือปน อายุที่หาได้จึงมีค่าน้อยกว่าที่เป็นจริง ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บและภาชนะที่บรรจุตัวอย่างจะต้องไม่มีสารอินทรีย์เจือปน

ตัวอย่างโบราณวัตถุ ซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาถึงชนิดของตัวอย่างและสิ่งที่เจือปนมาตามชนิดของตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

ตัวอย่างไม้ต้นไม้ภายในลำต้นมีอยู่ 2 ส่วน คือ Heart wood และ Sap Wood Heart Wood เป็นบริเวณของลำต้นที่เจริญเติบโตช้าส่วนใหญ่เป็นวงปีเก่า จากนี้จะไม่มีการถ่ายเรดิโอคาร์บอน-14 ซึ่งคาร์บอน-14ก็จะสลายตัวไปเรื่อยๆ ส่วน Sap Wood เป็นบริเวณของลำต้นที่มีการเจริญเติบโตดี ก็คือ วงปีใหม่ มีน้ำเลี้ยงที่ถูกลำเลียงไปหล่อเลี้ยงทุกส่วนของลำต้น จากคาร์บอน-14ที่ละลายอยู่ในน้ำเลี้ยงจะมีการแลกเปลี่ยนคาร์บอน-14ตั้งแต่เยื่อเจริญภายในส่วนที่ลำเลียงมีคาร์บอน-14ที่อยู่ในรูปของสารประกอบละลายอยู่ก็ยังคงแลกเปลี่ยนคาร์บอน-14ในบรรยากาศตลอดเวลา ดังนั้นถ้าไม่สกัดเอาเรซินและสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในต้นไม้ออกจะทำให้อายุที่หาได้ไม่ใช่อายุที่แท้จริง นอกจากนี้ในการสกัดตัวอย่างไม้ต้องใช้ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์จะต้องกำจัดตัวทำละลายนี้เสียก่อน เพราะจะทำให้อายุผิดไป ปี ค.ศ. 1972 แจนเซน เอช เอช ได้ศึกษาการสกัดสารต่างๆ พบว่าไม้เนื้อวัสดุของจะติดค้างอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ถ้าไม้จะมีโอกาสดีกว่า แม้จะติดค้างอยู่ก็จะแค่ 11% และการสกัดเอาเรซินออกจะต้องใช้เวลานานโดยการใช้เจือจางสกัด สิ่งที่ต้องระวังก็คือ การละลายจะต้องไม่มีคาร์บอเนตเจืออยู่ สำหรับตัวอย่างไม้ที่ได้มาจากบริเวณที่น้ำกระด้าง อายุที่หาได้จะมีค่ามากกว่าที่เป็นจริงเนื่องจากน้ำกระด้างมีคาร์บอเนตปนจากการย่อน-14ปนอยู่มาก

ตัวอย่างดิน ดินที่พบทั่วไปจะมีส่วนผสมของไข, สัตว์ที่เน่าเปื่อย, ไมโครเบียส, ลิวมัส ซึ่งส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบทางอินทรีย์ที่กรดวิมิกและอยู่เล็กน้อย ซึ่งจะทำให้อายุที่หาได้เก่าไปกว่าที่เป็นจริง จำเป็นที่จะต้อง กัดออกโดยใช้สารละลายโซดาไฟเจือจางแล้วน้ำกลั่น เนื่องจากดินมีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนน้อย ดังนั้นตัวอย่างดินที่ใช้จึงต้องมีปริมาณมาก

ตัวอย่างเนื้อสัตว์, ขนสัตว์และหนังสัตว์ สำหรับตัวอย่างเหล่านี้เป็นตัวอย่างที่ดีในการหาอายุ เพราะให้ค่าที่ถูกต้อง เนื่องจากไม่ต้องใช้สารเคมีหรือวัสดุสิ่งเปรอะเปื้อนแต่อย่างใด ใช้น้ำกลั่นล้างเท่านั้น ปัญหาที่สำคัญของตัวอย่างนี้ก็คือ หาได้ยากและมีการ

ถูกทำลายน่าเปื่อยไปหมด

ตัวอย่างเปลือกหอย ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ส่วนเปลือกหอย คือ วอลการ์บอเนต และสารที่ใช้หาอายุได้ถูกต้องก็คือ สารคองคิโอลิน (Conchiolin) ซึ่งจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 1 - 2 ในเปลือกหอยใหม่ๆ และสามารถนำไปหาอายุ ปี ค.ศ. 1964 เบอร์เกอร์ อาร์ เอช ยอน ได้ทำการสกัดคองคิโอลินจากเปลือกหอยเพื่อใช้หาอายุ เนื่องจากมีปริมาณน้อยมากจึงไม่มีมากพอที่ใช้ในการนำมาหาอายุ เราต้องใช้ปริมาณมาก ซึ่งตัวอย่างปริมาณมากๆก็หายากมากอยู่แล้ว ส่วนมากนิยมใช้การบอเนต ที่ได้จากการบอน-14ซึ่งอยู่ในรูปของคาร์บอเนต, ไฮโดรเจนการ์บอเนต, กรดการ์บอนิก โดยเฉพาะตัวอย่างที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมน้ำต่างๆหรือบริเวณที่น้ำท่วมถึง จะทำให้บริเวณนั้นมีการ์บอน-14 ดังนั้นตัวอย่างเปลือกหอยจะต้องขจัดการ์บอเนตบริเวณเปลือกออก

ตัวอย่างกระดูก กระดูกใช้คอลลาเจนที่เป็นองค์ประกอบของกระดูก โดยเฉพาะกระดูกใหม่ๆมีร้อยละ 25 และคอลลาเจนจะลดลงไปตามความเก่าของกระดูกนั้น ปี ค.ศ. 1960 เบอร์เกอร์ อาร์ เอช ยอน ปี ค.ศ. 1965 บลูเกอร์ เอช ดับเบิ้ลยู และ ปี ค.ศ. 1971 เจนกิน อาร์ ได้การสกัดเอาคอลลาเจนออกจากกระดูกเพื่อใช้หาอายุ แต่ต้องใช้กระดูกปริมาณมาก จึงไม่นิยมสกัดเอาคอลลาเจนมาใช้ในการหาอายุ แต่ใช้ในรูปของการ์บอเนต เนื่องจากมีมากกว่า

ตัวอย่างถ่านไม้ เนื่องจากถ่านไม้มีความพรุนซึ่งถูกอัดเอาสารละลายต่างๆได้ดี รากอ่อนของต้นไม้สามารถงอกแทรกเข้าไปได้ง่าย ซึ่งการจะสกัดเอาสารอื่นที่เจือปนออกจากตัวอย่างไม้เรียบร้อยโดยใช้วิธีเกี่ยวกับการเตรียมดิน รากอ่อนของต้นไม้ก็ใช้กรีดกีดออก นอกจากนี้ปี ค.ศ. 1968 แวนเดอร์ เมอร์ว ได้ขยายสารที่เจือปนโดยกรรมวิธีทางเคมี

ตัวอย่างเหล็ก เหล็กที่นำมาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้มาจากถุง เหล็กที่ใช้ขึ้นกาบเหนียว, แข็ง แตกต่างกันตามปริมาณของการ์บอน คาร์บอนที่อยู่ในเนื้อ

หอสมุดกลาง มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท 25 พระโขนง กรุงเทพฯ 11 โทร. 3921575, 3915058

เหล็กจะถูกรักษาไว้อย่างดีไม่มีสิ่งสิ้นเปลืองเลย ปี ค.ศ. 1966 นายแพทย์ เบงรีวได้กล่าวถึงข้อดีข้อเสียของการกำหนดอายุของตัวอย่างโบราณวัตถุ ก็คือ การถนอมเหล็กเพื่อรักษาโบราณวัตถุให้ทนไม่สึก ในการถนอมระหว่างการทดลองนี้ไม่มีใครเกี่ยวกับอายุที่แท้จริงจะเป็นอย่างไร ที่เป็นจริง

การนับรังสีสารประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์จากตัวอย่าง

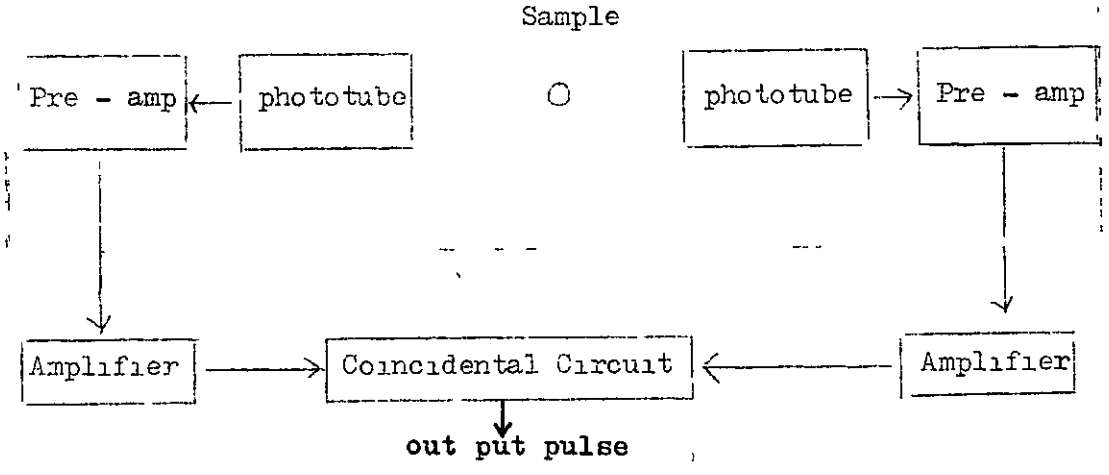
สารประกอบที่ได้จากตัวอย่างโบราณวัตถุมีอยู่ 2 ประเภท คือ กาซกับของเหลว ของกาซได้แก่ การ์บอนไดออกไซด์, มีเทน, อเซทธีลีน ส่วนของเหลวได้แก่ เบนซีน ดังนั้นการนับรังสีจะมี 2 แบบ คือ

1. การนับด้วยเครื่องนับรังสีแบบ Proportional Chamber Counter ซึ่งในปี ค.ศ. 1953 เฟอร์เกอร์สัน และ เบิร์ก ได้ทำการวัดนับรังสีสารประกอบที่เปลี่ยนจากโบราณวัตถุเป็นกาซการ์บอนไดออกไซด์, มีเทน, อเซทธีลีน ซึ่งการนับด้วยเครื่องมือแบบนี้ต้องใช้การนับแบบ Anti-coincidental Counter เข้าช่วยเพื่อลดระดับรังสีและขจัดการรบกวนของรังสีจากสิ่งแวดล้อมให้น้อยลง

2. การนับด้วยเครื่องมือนับรังสีแบบ Liquid Scintillation Counter เบนซีนที่เตรียมจากตัวอย่างโบราณวัตถุนั้น สามารถใช้นับรังสีด้วยเครื่องมือแบบนี้ เนื่องจากเบนซีนเป็นตัวทำละลายสารที่ทำให้เกิด Scintillation ซึ่งเป็นของแข็ง เช่น PPO (2,5 - diphenyl oxazole) POPOP (p - bis - 2,5 - phenyloxza oxazole benzene), Dimethyl POPOP (1,4 - bis - 2 (4 - methyl) 5 - phenyloxazole สารเหล่านี้เมื่อถูกรังสีเบต้าจะทำให้เกิด ระดับแสงขึ้น เครื่องมือนับรังสีชนิดนี้จะมีเครื่องมือนับแสงระดับต่ำเป็นเครื่องมือที่ใช้เป็นสามารถของรังสี ปี ค.ศ. 1963 แอนเดอร์ และ แฮมเมอร์ ได้ทำการนับรังสีของเบนซีนที่ได้จากตัวอย่างโบราณวัตถุโดยใช้เครื่องมือนับรังสีแบบ Liquid Scintillation Counter หรือ Single Photomultiphier Counter เพราะมีประสิทธิภาพสูง

- 85269

45 % ปัจจุบันเครื่องมือนับรังสีแบบ Liquid Scintillation Counter จะเป็นแบบ Coincidental Counting นอกจากนี้ลักษณะที่ใช้ใส่เบนซีนและสารทำให้เกิด Scintillation จำเป็นต้องใช้แก้วที่มีโปตัสเซียมต่ำ เนื่องจากโปตัสเซียม-เป็นสารกัมมันตรังสีจะทำให้ค่าความแรงรังสีจาก Back ground เพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 2 แสดงแผนผังวงจร Liquid Scintillation Counter แบบ Coincidental Counting

<u>การคำนวณหาอายุของโบราณวัตถุโดยใช้กฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี</u>

การกำนวณหาอายุของโบราณวัตถุ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นแรก เปลี่ยนตัวอย่างโบราณวัตถุให้เป็นสารประกอบเบนซีนและนับรังสีด้วยเครื่องมือที่เหมาะสมเป็นระยะเวลานานพอสมควร (T_S) พอที่จำนวนนับรังสีมีค่าสูงค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อหากรณ์ที่ 2 ของจำนวนนับรังสี มีค่าน้อยกว่าร้อยละหนึ่งของจำนวน

นับรังสี

สมมติให้ Ms+b เป็นจำนวนนับรังสีของตัวอย่างโบราณวัตถุในระยะเวลา

Mb เป็นจำนวนนับรังสีของ Back ground ในระยะเวลา

ดังนั้น จำนวนนับรังสีของตัวอย่างโบราณวัตถุต่อ หนึ่งหน่วยเวลา

$$As = \frac{Ms+b}{Ts} - \frac{Mb}{Tb} \qquad (15)$$

ขั้นต่อมา เตรียมตัวอย่างเบนซีนจากกรดอะซิติกจากโบราณวัตถุ แล้วนับรังสีด้วยเครื่องมือเดียวกัน เป็นระยะเวลา (To) ซึ่งค่าจำนวนนับรังสีสูงกว่าหนึ่งเท่าของจำนวนนับรังสี มีค่าน้อยกว่าร้อยละหนึ่งของจำนวนนับรังสีนั้น สมมติให้เป็น Mo+b ต้องแก้ความแรงรังสีของตัวอย่างที่เตรียมมาจากกรดอะซิติกจากโบราณวัตถุ ซึ่งให้ At = จำนวนนับรังสีของกรดอะซิติกจากโบราณวัตถุต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่แก้ไข

$$At = \left(\frac{Mo+b}{To} - \frac{Mb}{Tb}\right) \times 0.95 \qquad (16)$$

นำค่า At ที่ได้ไปหาความแรงรังสีเมื่อวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1950 โดยใช้สูตรที่ 17 ค่าที่ได้จะเป็น Ao

$$Ao = At\, e^{\lambda t} \qquad (17)$$

ขั้นสุดท้าย คำนวณหาอายุของโบราณวัตถุเป็นจำนวนปีโดยนับจากปี ค.ศ. 1950 จากสูตรที่ 18

$$t = Tm \ln \frac{Ao}{A} \qquad (18)$$

การหาความเชื่อมในการหาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเกิดขึ้นและแก้ไขความผิดพลาดเหล่านี้

1. สาเหตุจากการแปรปรวนของสนามแม่เหล็กโลก

เนื่องจากว่าระดับความแรงรังสีคอสมิกในบรรยากาศชั้นบนในอดีตกาลนั้นมีค่าไม่คงที่เหมือนกับในปัจจุบัน ซึ่งอัตราการเกิดของคาร์บอน-14 คงที่ด้วย แต่การแปรปรวนของสนามแม่เหล็กโลกในอดีตกาลทำให้ระดับความแรงรังสีคอสมิกในบรรยากาศนั้นเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อย ในปี ค.ศ. 1958 วาลีได้เป็นผู้ค้นพบการผันแปรนี้ และต่อมาในปี ค.ศ. 1971 เรย์ได้เป็นผู้ศึกษาเกี่ยวกับการแปรปรวนของสนามแม่เหล็กโลก เพื่อแก้ไขในการหาอายุจริงจากการนับรังสีคาร์บอน-14 ในปี ค.ศ. 1972 ไมเคิลและคาวอน ได้ทำการศึกษาเรื่องนี้และได้ทำการสร้างเส้นโค้งแก้ความผิดพลาดเกี่ยวกับอายุ เนื่องจากการแปรปรวนของสนามแม่เหล็กโลก

2. สาเหตุเนื่องมาจากไอโซโทปเอฟเฟ็กต์ (Isotope effect)

เมื่อปี ค.ศ. 1953 แกรอิก เสนอรายงานเกี่ยวกับขบวนการทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของพืช การสร้างลิกนิน เซลลูโลสและส่วนอื่นของพืช จะมีไอโซโทปแยกธาตุ (Isotope Fractionation) ซึ่งแกรอิกได้ใช้ Peedee Belamite Chicaco Lime Stone เป็นมาตรฐาน (PDB. Ch. Lst Std) ในการเปรียบเทียบ $^{14}C/^{12}C$ สำหรับตัวอย่างทางธรณีวิทยาและตัวอย่างโบราณวัตถุ นำมาทำการหาอายุและได้สร้างสูตรสำเร็จขึ้น

$$As = Am \left(1 - \frac{2\,\delta^{13}C}{1000}\right) \qquad (19)$$

ซึ่ง $\delta^{13}C$ นี้ได้มาจากผลการวัดส่วนของ $^{13}C/^{12}C$ ของตัวอย่างกับ $^{13}C/^{12}C$ ของ PDB. Ch . Lst . Std ดังสูตร

$$\delta^{13}C_{PDB} = \frac{^{13}C/^{12}C \text{ sample} - {}^{13}C/^{12}C \text{ PDB. Ch. Lst. Std}}{^{13}C/^{12}C \text{ PDB. Ch. Lst. Std}} \times 10^3 \qquad (20)$$

As = ความแรงรังสีของคาร์บอน-14ของตัวอย่างหลังจากแก้ไขไอโซโปแรกซันเนชัน

Am = ความแรงรังสีของคาร์บอน-14 ที่วัดได้

ค่าอายุจะถูกต้องขึ้นอยู่กับ $\delta^{13}C$ ของตัวอย่างโบราณวัตถุด้วย ซึ่งกรองกซาลิกมาตรฐานจะต้องใช้เครื่องแมสสเปรคโตรมาเตอร์ในการ 20 ค่า ความแรงรังสีที่ถูกต้อง เนื่องจากไอโซโทปแรกซันเนชันมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 80 ปีแต่อาจจะผิดพลาดได้ 200 ปี

ค่าความคลาดเคลื่อนของอายุโบราณวัตถุที่คำนวณได้โดยเรดิโอคาร์บอนเวทมีจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อนรวมของค่าความคลาดเคลื่อนจากชีวิตเฉลี่ยของคาร์บอน-14 ค่าความคลาดเคลื่อนจาก As และค่าความคลาดเคลื่อนจาก Ao ในข้อการที่ 15, 17 มีได้เกี่ยวกับความผิดพลาดเนื่องจากโบราณวัตถุถูกปะปนด้วยสารอื่น หรือจากการแปรปรวนของระดับรังสีคอสมิก เป็นต้น

ในปี ค.ศ. 1972 แจนเสนได้สร้างสูตรสำเร็จสำหรับการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนดังสูตร

$$dt = \frac{Tm}{10^3}\left[\frac{t^2(dTm)^2x10^6}{Tm^4} + \frac{10^3}{Ao^2}\left(\frac{Ao+Ab}{To/10^3} + \frac{Ab}{Tb/10^3}\right) + \frac{10^3}{As^2}\left(\frac{As+Ab}{Ts/10^3} + \frac{Ab}{Tb/10^3}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

dt = ค่าความคลาดเคลื่อนของอายุโบราณวัตถุ

Tm = ชีวิตเฉลี่ยของคาร์บอน-14มีค่าเท่ากับ 8,268 ± 58 ปี

dTm = ความคลาดเคลื่อนชีวิตเฉลี่ยของคาร์บอน-14มีค่าเท่ากับ 58 ปี

As = จำนวนนับรังสีต่อหนึ่งหน่วยเวลาของกรดกองกยาลิกมาตรฐานที่ถูกด้วย 0.95 และเปลี่ยนไปเป็นความแรงรังสีวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1950

Ao = จำนวนนับรังสีต่อหนึ่งหน่วยเวลาของตัวอย่างโบราณวัตถุ

การหาอายุของโบราณวัตถุ จะรายงานเจากอายุที่คำนวณได้ ซึ่งจะเป็นจำนวนปีนับจากเวลาปัจจุบันเครื่องอายุเป็นปีก่อน ค.ศ. 1950 โดยใช้คำว่า B.P. (Before Present) หมายความว่าอายุของโบราณวัตถุจะคิดอายุนับจากปี ค.ศ. 1950 ย้อนไปจะคำความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมาแล้ว

ตาราง 2 แสดงปริมาณของตัวอย่างโบราณวัตถุชนิดต่างๆที่จะนำมาหาอายุได้[1]

ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณที่ต้องการ (กรัม)	ปริมาณต่ำสุดที่จะหาได้ (กรัม)
ถ่านไม้	8 - 12	1
ไม้	10 - 30	3
เปลือกหอย(ใช้คาร์บอเนต)	30 - 100	5
เปลือกหอย(ใช้คอลลิโอลีน)	500 - 2,500	200
กระดูก(อายุน้อยกว่า 5,000 ปีและโกลาเจน)	200 - 500	100
กระดูก(ใช้คาร์บอเนต)	100 - 500	50
กระดูก(อายุมากกว่า 5,000 ปีและใช้โกลาเจน)	400 - 1,000	250
เหล็กหล่อ	100 - 150	30
เหล็กกล้า	300 - 500	150
ฟัน	10 - 25	3

[1] Josep W. Michels "Radiocarbon Dating Method," in Dating Method in Archaeology p. 148-167.

บทที่ ๖

วิธีดำเนินการศึกษา

เก็บตัวอย่างโบราณวัตถุ

นำตัวอย่างโบราณวัตถุจากบ้านดูเมือง ต.ด้วยขัน อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี ที่เป็นถ่าน, กระดูก, หอย ตัวอย่างเหล่านี้อยู่ในระดับความลึกจากผิวดิน 210 - 330 เซนติเมตร ดังมีรายละเอียดเกี่ยวกับตัวอย่างดังนี้

ตาราง ๖ แสดงชนิดของโบราณวัตถุ, วันเดือนปีที่ขุด, ระดับความลึก

ชนิดของโบราณวัตถุ	ถุงที่	วันเดือนปีที่ขุด	หลุม	ระดับความลึก(ซ.ม.)
ถ่าน 1	418	30 มี.ค. 22	A XVII'	210 - 230
ถ่าน 2	424	30 มี.ค. 22	A XVII'	210 - 230
ถ่าน 3	435	31 มี.ค. 22	A XVII'	210 - 230
ถ่าน 4	460	1 เม.ย. 22	A XVII'	310 - 330
ถ่าน 5	180	30 มี.ค. 22	B XVII'	220 - 230
ถ่าน 6	230	1 เม.ย. 22	B XVII'	300 - 320
ถ่าน 7	233	1 เม.ย. 22	B XVII'	320 - 340
ถ่าน 8	184	31 มี.ค. 22	C XVII'	220 - 240
ถ่าน 9	193	31 มี.ค. 22	C XVII'	240 - 260
กระดูก 1	650	1 เม.ย. 22	B XVII'	260 - 270
กระดูก 2	208	1 เม.ย. 22	B XVII'	280 - 290
หอย 1	273	1 เม.ย. 22	C XVII'	240 - 250

และเก็บตัวอย่างที่โคก เมมี ต.ท่าข้าม อ. พัฒนิคม จ.ลพบุรี ผู้วิจัยเป็นผู้เก็บตัวอย่างเองในวันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2522 และเก็บเพิ่มเติมอีกในวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2523 ดังรายละเอียดเกี่ยวกับตัวอย่างเหล่านี้

ตาราง 4 แสดงถึงชนิดของโบราณวัตถุ, ความลึก ที่โคก เมมี

ชนิดของโบราณวัตถุ	ระดับความลึก (ซม.)
โครงกระดูกที่ 2	230 - 240
โครงกระดูกที่ 3	260 - 270
โครงกระดูกที่ 4	250 - 260
โครงกระดูกที่ 5	230 - 240
โครงกระดูกที่ 6	350 - 370
โครงกระดูกที่ 7	320 - 330
โครงกระดูกที่ 8	320 - 330
โครงกระดูกที่ 9	420 - 450
โครงกระดูกที่ 10	
โครงกระดูกที่ 11	670 - 700
หลุย	670 - 700
หอย	780 - 800
ถ่าน	580 - 600

ถ่านที่ได้จากการขุดมักจะมีดินติด, จากไม้ประมาณจะต้องเลือกเอาเฉพาะถ่านเท่านั้น กระดูกต้องนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อขจัดดินและสิ่งอื่นที่อยู่ออกและทุบให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ, สำหรับหอยจะต้องนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อเอาดินออกและต้องล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เพื่อทำให้คาร์บอเนตที่ผิวนอกเปลือกหอยสลายไป

การสังเคราะห์เบนซีนจากตัวอย่างโบราณวัตถุและสารบางชนิดที่ได้จากการขุดค้นทางโบราณคดี

สำหรับการสังเคราะห์เบนซีนจากตัวอย่างโบราณวัตถุ ขั้นตอนที่สำคัญที่ควรจะต้องอยู่ภายใต้ระบบสูญญากาศ มีดังนี้

1. เตรียมคาร์บอนไดออกไซด์จากตัวอย่างโบราณวัตถุ

ตัวอย่างวัตถุที่นำมาใช้ในการเตรียมคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเครื่องมือดังภาพประกอบ 3 ในการเผาจะต้องมีออกซิเจนปริมาณเพียงเล็กน้อย (ปริมาณการไหลผ่านประมาณ 400 ซี.ซี.ต่อวินาที) เนื่องจากการมีปริมาณออกซิเจนมากเกินไปจะทำให้มีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นด้วย ซึ่งต้องผ่านการทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นโดยการใช้ความร้อนเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ให้หมด การสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการเผานี้มักจะมีกลิ่นเฮโลเจน, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไอน้ำปนมาด้วย จึงเป็นต้องขจัดออกเสียก่อนโดยการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ที่บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นต่อไป โดยผ่านลงในสารละลายเงินในเกรด 0.2 นอร์มาล เพื่อขจัดกลิ่นเฮโลเจน สารละลายที่มีอยู่ประมาณ 25 % และโปตัสเซียมไอโอไดด์ 0.2 % เพื่อขจัดการสะสมของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไอน้ำที่ปนมา โดยผ่านไปในสารละลายกรดโครมิกและเครื่องดักที่แช่ในไนโตรเจนเหลวตามลำดับ อัตราการไหลแล้วจึงผ่านไปยังเครื่องดักที่แช่ในไนโตรเจนเหลวจะทำให้การสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง จากนั้นจึงเริ่มการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ถังเก็บการสะสมขนาด 15 ลิตร มีอยู่ 3 ถัง อ่านปริมาณที่ได้จากแมโนมิเตอร์ปรอท (Mercury Manometer) เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาตรที่แน่นอนของการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์

ส่วนตัวอย่างโบราณวัตถุที่เป็นหอยเชลล์ถูกนำมาเติมกรดไฮโดรคลอริกเจือจางเพื่อใช้ทำปฏิกิริยากับเปลือกหอย จะได้การสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนตัวอย่างกระดูกสัตว์ในกรดโครมิกและเครื่องดักที่แช่ในไนโตรเจนเหลว รวมกับอัตราการไหลจะได้การสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการ จับการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่องดักที่แช่ในไนโตรเจนเหลวแล้วระเหิดเข้าสู่ถังเช่นเดียวกัน

2. เตรียมการ์บอนไดออกไซด์จากกรดออกซาลิกมา 1 ปฏิกิริยาตามวิธีของ U.S.National Bereau of Standard เป็นการเตรียมการ์บอนไดออกไซด์โดยใช้เครื่องมือดังภาพประกอบ 4 โดยกรดออกซาลิกมาตรฐาน 40 กรัม ซึ่งถูกปิดไว้ในหลอดแก้วสามารถเปิดออกได้โดยการทุบได้ปริมาณ 16 ลิตร ที่ บรรยากาศที่อุณหภูมิห้องเดิมก่อนทดลอง 253 เค.ซี.เค. และความดัน 75 ซม.ซม.ของปรอทที่ 4 ส่วนการ์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาแล้วจะผ่านสารละลายด่างทับทิม เพื่อขจัดไอน้ำและไอกรดออกซาลิกที่ระเหยออกมาด้วย ดังสมการ

$$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + (COOH)_2 \longrightarrow K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O + 10CO_2$$

3. เตรียมอะเซทิลีนจากการ์บอนไดออกไซด์

จากการ์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยากับลิเทียมที่มีความเข้มข้นเกินกว่าร้อยละ 10 ซึ่งลิเทียมนี้จะต้องเป็นเม็ดบรรจุในถ้วยสะแตนเลส 6 ในภาพประกอบ 5 ถูกเผาจากก๊าซแก๊สจนได้อุณหภูมิ 600 - 700°ซ จากนั้นเริ่มป้อนก๊าซการ์บอนไดออกไซด์จากถังอย่างช้าๆ ด้วยความเร็วเกิน 25 ซม.ต่อนาที จนหมด สำหรับอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาจะต้องปรับให้เป็น 750°ซ เพราะเมื่อทำปฏิกิริยาเรียบร้อย ก็เพิ่มอุณหภูมิเป็น 900°ซ เป็นเวลา 30 นาที แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังสมการ

$$2CO_2 + 10Li \longrightarrow Li_2C_2 + 4Li_2O$$

เมื่อการ์ไบด์ลิเทียมทำปฏิกิริยากับน้ำก่อน จะได้อะเซทิลีน ดังสมการ

$$Li_2C_2 + 2H_2O \longrightarrow C_2H_2 + 2LiOH$$

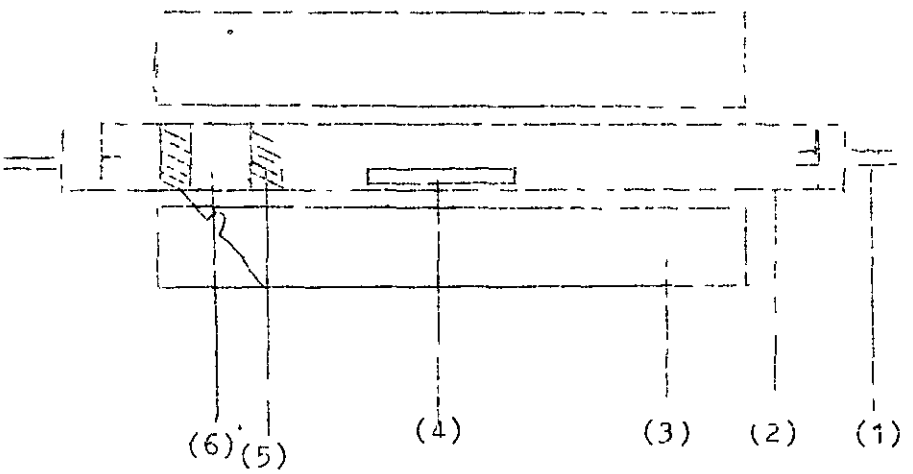
อะเซทิลีนที่ได้มักมีไอของลิเทียมไฮดรอกไซด์และอัมโมเนีย จึงต้องขจัดโดยผ่านกรดซัลฟิวริกเข้มข้นและผ่านให้แห้งโดยผ่านเครื่องดักไอน้ำซึ่งบรรจุไนโตรเจนเหลวผสมกับน้ำแข็งแห้ง แล้วจึงผ่านอะเซทิลีนที่ได้ไปยังเครื่องดักกรดซัลฟิวริกเข้มข้นอีกครั้ง

๑. เตรียมเบนซีนจากอะเซทิลีน ทำได้โดยการเตรียมอะเซทิลีนในเครื่องมือในรูปประกอบ 6 ซึ่งอะเซทิลีนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ ซึ่งใช้เป็นของแข็งที่ผลิตโดยบริษัท Harshaw Chemical Co.Cleveland สำหรับอะเซทิลีนใช้ประมาณ 40 - 60 กรัม จะต้องผ่านตะกั่วเรียบร้อยโดยเผาตะกั่วที่อุณหภูมิ 550°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบรรจุลงในหลอดที่ 5 ในรูปประกอบ 6 ที่อุณหภูมิ 150°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วดูดอากาศออกจนความดันลดลงเหลือประมาณ 10^{-1} เทอร์ จึงปิดจากสูญญากาศ แล้วทิ้งไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำให้เย็นโดยใช้เครื่องดักที่แช่ในไนโตรเจนเหลวเช่นเดียวกับหลอดที่ใช้ดูดตะกั่วออกแล้วทิ้งไว้ข้างกัน จากนั้นก็เผาเบนซีนของตะกั่วตะไลส์โดยเผาที่อุณหภูมิ 150°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บเบนซีนด้วยเครื่องดักที่แช่ในไนโตรเจนเหลว ปฏิกิริยาที่เกิดสามารถเขียนในรูปของการได้ดังนี้

$$3C_2H_2 \xrightarrow{Catalyst} C_6H_6$$

<u>การนับจำนวนรังสีของคาร์บอน-14 ด้วยเครื่องมือนับรังสีแบบ Liquid Scintillation Counter</u>

เนื่องจากเบนซีนที่ได้โดยการเปลี่ยนมาจากตัวอย่างในธรรมชาติมีปริมาณน้อย เพียงประมาณ 5 ซี.ซี จึงนำเบนซีนที่ได้มาผสมกับสารเรืองแสง ใช้ปริมาณผสมสารเรืองแสง 1 ซี.ซี ต่อเบนซีนตัวอย่าง 4.0 ซี.ซี เขย่าให้เข้ากันดี แล้วจึงนำไปนับรังสี ถ้ากรณีที่เบนซีนที่ได้จากสารตัวอย่างไม่ถึง คือน้อยกว่า 4.0 ซี.ซี. ให้ใช้เบนซีนชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการของ E.Merch เติมลงให้ครบ 4.0 ซี.ซี เช่นใช้เบนซีนที่ได้จากสารตัวอย่าง 1.5 ซี.ซี, 2 ซี.ซี, 3 ซี.ซี แล้วแต่ความเหมาะสมผสมกับสารเรืองแสง 1 ซี.ซี. แล้วเก็บไว้เช่นเดียวกับเบนซีนที่ได้มาจากกรดอินทรีย์ในธรรมชาติ สารเรืองแสงนั้นเตรียมจากการผสม PPO 20 กรัม กับ POPOP 0.5 กรัม ละลายในโทลูอีน 1 ลิตร จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน



(1) ท่อยางนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากถัง

(2) หลอดแก้วคาวอลซ์

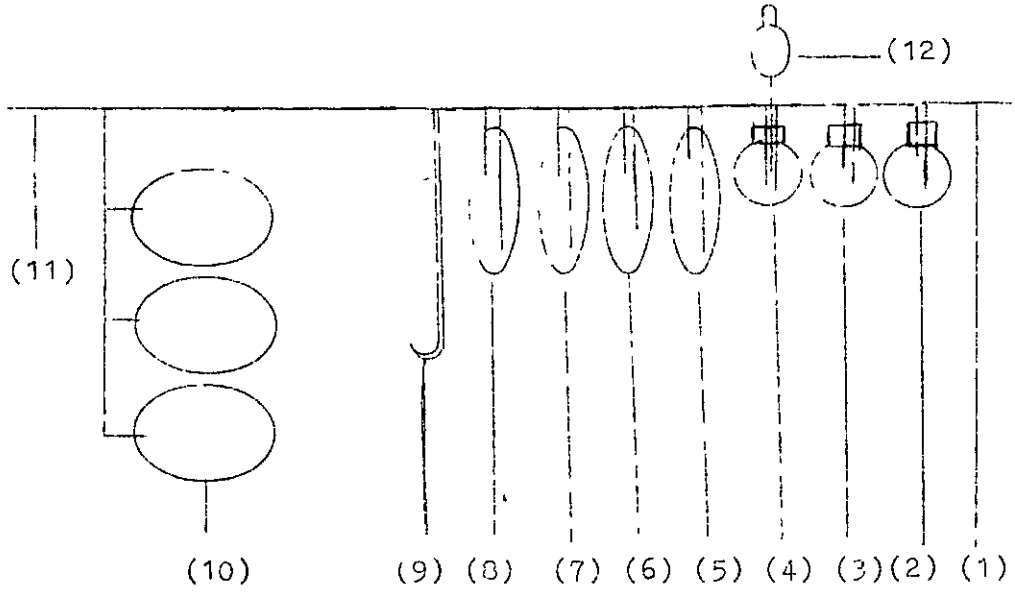
(3) เทอร์โมคัปเปิลชนิดที่ใช้กับแก๊ส

(4) รางกวนผสมใส่ตัวอย่างโบราณวัตถุ

(5) ใยแก้ว

(6) ก๊วปริกองกไซด์

ภาพประกอบ 3 แสดงเครื่องมือเตรียมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สันดาป)



(1) ขวดแก้วกลั่นจากเครื่องสันดาป

(2) ขวดแก้วบรรจุสารละลายเงินไนเตรต 0.2 นอร์มอล

(3) ขวดแก้วบรรจุสารละลายไอโอดีน 25 % และโปตัสเซียมไอโอไดน์ 0.2 %

(4), (5) ขวดแก้วบรรจุสารละลายกรดโครมิก

(6) ขวดกลั่นน้ำและเครื่องดักฝอยละอองสารโครเมตเข้าด้วยกันกับอ็อกซอย

(7), (8) เครื่องดักกลั่นไอโครเมตเข้าด้วย

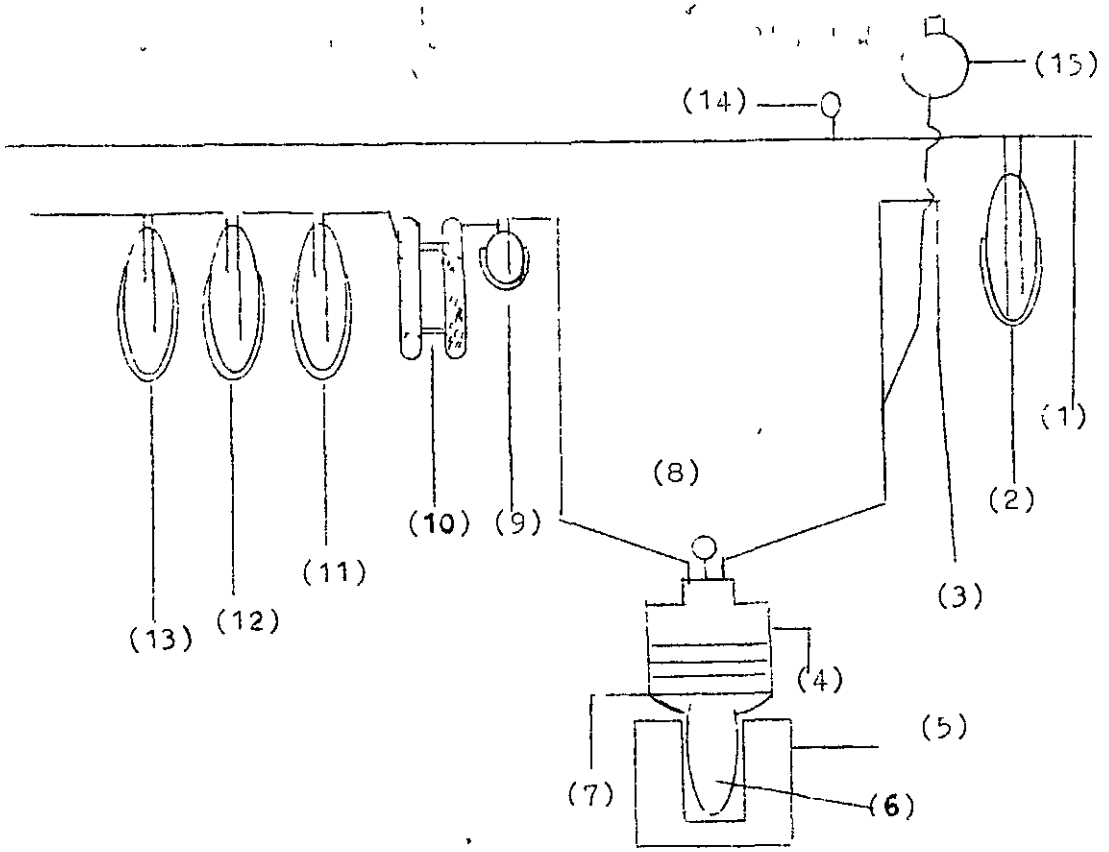
(9) เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ

(10) ถังเหล็กกล้าไร้สนิมปริมาตร 15 ลิตร

(11) ต่อกับเครื่องดูดอากาศ

(12) ขวดแก้วสำหรับใส่กรด

ภาพประกอบ 4 เครื่องมือเตรียมกาซคาร์บอนไดออกไซด์ (ทำให้บริสุทธิ์)



(1) ต่อกับเครื่องดูดอากาศ

(2) เครื่องวัดไอน้ำที่แช่ในไนโตรเจนเหลว

(3) ท่อจากถังเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(4) น้ำออก (7) น้ำเข้า

(5) เข้าเผาไฟฟ้า

(6) ภาชนะเซ็กเกอร์ไร้ฉนิมที่มีฝาปิดทองแดงพันโดยรอบ

(8), (14) เครื่องวัดความดัน

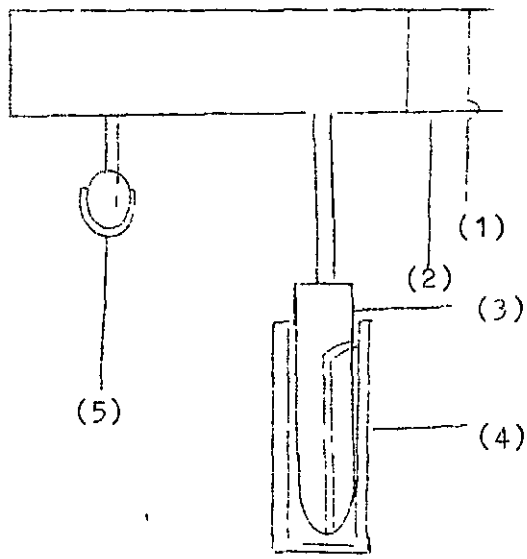
(9), (11) เครื่องดักกับดักแช่ในไนโตรเจนเหลวผสมกับอีเทอร์

(10) ขวดแก้วบรรจุเม็ดแก้วเคลือบด้วยสารละลายโซเดียมเข้มข้น

(12), (13) เครื่องดักกับดักแช่ในไนโตรเจนเหลว

(15) ขวดก๊าซบรรจุน้ำมันสน

ภาพประกอบ 5 เครื่องมือเตรียมคาร์ไบด์และอเซทีลีน



(1) ต่อกับท่อดูดจากกาก

(2) ต่อกับเครื่องดักอะซีโตน

(3) ต่อกับแก้วบรรจุแวนนาเดียมเพนทอกไซด์

(4) เกลียวไฟฟ้า

(5) เครื่องดักเบนซีนที่ไม่ทำปฏิกิริยาเหลว

ภาพประกอบ 6 เครื่องมือเตรียมเบนซีน

แล้วไปสำกรวัดนับรังสีด้วยเครื่องมือแบบ Liquid Scintillation Counter เป็นเวลานานพอสมควร

การนับรังสีจะต้องนับความแรงรังสีของเบนซีนที่ได้จาก

1. ตัวอย่างโบราณวัตถุ
2. กรดออกซาลิกมาตรฐานเปรียบเทียบ
3. เบนซีนของ E.Merch เป็นความแรงรังสีของ Back ground

การคำนวณหาค่าอายุ

1. หาความแรงรังสีของเบนซีนจากโบราณวัตถุที่ปราศจากความแรงรังสีของ Back ground ซึ่งหาได้จากสูตร

$$As = Ap - Ab \qquad (22)$$

As = ความแรงรังสีของตัวอย่างโบราณวัตถุที่ปราศจากความแรงรังสีของ Back ground

Ap = ความแรงรังสีของตัวอย่างโบราณวัตถุที่วัดได้

Ab = ความแรงรังสีของเบนซีนจาก E.Merch หรือเบนซีนจากหินอ่อน (ความแรงรังสีของ Back ground)

2. หาความแรงรังสีของเบนซีนจากกรดออกซาลิกมาตรฐาน

2.1 แก้ไขความแรงรังสีที่วัดได้ดังนี้

$$At = (Aq - Ab) \times 0.95 \qquad (23)$$

At = ความแรงรังสีของกรดออกซาลิกมาตรฐานที่แก้ไข

Aq = ความแรงรังสีของกรดออกซาลิกมาตรฐานที่วัดได้

Ab = ความแรงรังสีของเบนซีน E.Merch หรือ หินอ่อน (ความแรงรังสีของ Back ground)

2.2 หาความแรงรังสีของกรดอ็อกซาลิกจากตัวอย่างที่วัดที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1958

$$Ao = Ate^{\lambda t} \qquad (24)$$

Ao = ความแรงรังสีของกรดออกซาลิกจากตัวอย่างที่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1956

At = ความแรงรังสีของกรดออกซาลิกจากตัวอย่างที่แก้ไข

λ = ค่าคงที่ของการสลายตัวของคาร์บอน-14

t = ระยะเวลาที่สลายตัวเป็นปี

3. หาอายุตัวอย่างโบราณวัตถุ

3.1 นำค่าความแรงรังสี Ao , As มาหาค่าอายุของตัวอย่างโบราณวัตถุ ตามสูตร

$$t = Tm \ln \frac{Ao}{As} \qquad (25)$$

t = ค่าอายุของตัวอย่างโบราณวัตถุ

Tm = ชีวิตเฉลี่ยของคาร์บอน-14มีค่าเท่ากับ 8,268 ปี

3.2 การรายงานอายุ

ค่าอายุที่หาได้จากข้อ 3.1 จะรายงานเป็นหน่วย B.P. (Before Present) ซึ่งหมายถึงอายุเป็นปีก่อน ค.ศ. 1950 ดังนั้นเมื่อหาอายุแล้วต้องเปลี่ยนเป็นอายุ B.P. โดยเอาอายุคำนวณได้ลบออกด้วยจำนวนปีที่นับจากปี ค.ศ. 1950 เช่น อายุโบราณวัตถุคำนวณได้ 4,890 ปี ดังนั้นจะต้องเอา 30 ปีไปลบออกจากอายุที่คำนวณได้ อายุเท่ากับ 4,890 - 30 = 4,860 ปี เป็นต้น

3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของโบราณวัตถุในการหาอายุแบบคาร์บอน-14

ค่าความคลาดเคลื่อน แจนเสนได้สร้างสูตรสำเร็จดังนี้

$$dt = \frac{Tm}{10^3}\left[\frac{t^2(dTm)^2}{Tm^4}x10^6 + \frac{10^3}{Ao^2}\left(\frac{Ao+Ab}{To/10}^3 + \frac{Ab}{Tb/10}\right)^3 + \frac{10^3}{As^2}\left(\frac{As+Ab}{Ts/10} + \frac{Ab}{Tb/10}\right)^3\right]^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

dt = ค่าความคลาดเคลื่อนของอายุของโบราณวัตถุ

Tm = อายุเฉลี่ยของคาร์บอน-14 มีค่าเท่ากับ 8,266 ปี

t = ค่าอายุของโบราณวัตถุที่หาได้

dTm = ค่าความคลาดเคลื่อนของชีวิตเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 58 ปี

As = จำนวนนับรังสีต่อหนึ่งหน่วยเวลาของตัวอย่างโบราณวัตถุ

Ao = จำนวนนับรังสีต่อหนึ่งหน่วยเวลาของกรดออกซาลิกมาตรฐาน ที่คูณด้วย 0.95 และเปลี่ยนไปเป็นความแรงรังสีวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1958

ดังนั้นอายุของโบราณวัตถุจะรายงานทั้งอายุที่หาได้และความคลาดเคลื่อนของอายุ

นำอายุของโบราณวัตถุที่หาได้โดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเคาะทิ้งเปรียบเทียบกับอายุของโบราณคดีที่ได้จากการศึกษารูปแบบทางศิลป์

นำอายุของโบราณวัตถุที่ขันธ์กันทางโบราณคดีมาเปรียบเทียบกัน

บทที่ 4

ผลของการวิจัย

โบราณวัตถุที่นำมาจากแหล่งโบราณคดีบ้านถ้ำเมือง ต.ห้วยซัน อ.วิหารบุรี จ.เพชรบุรี ได้นำมาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง และโบราณวัตถุชิ้นที่อยู่ในชั้นดินที่มีระดับความลึกต่างๆ กำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปะ ดังรายละเอียดในตาราง 5, 6 และภาพประกอบ 7

ตาราง 5 แสดงค่าอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง ในระดับความลึกต่างๆ

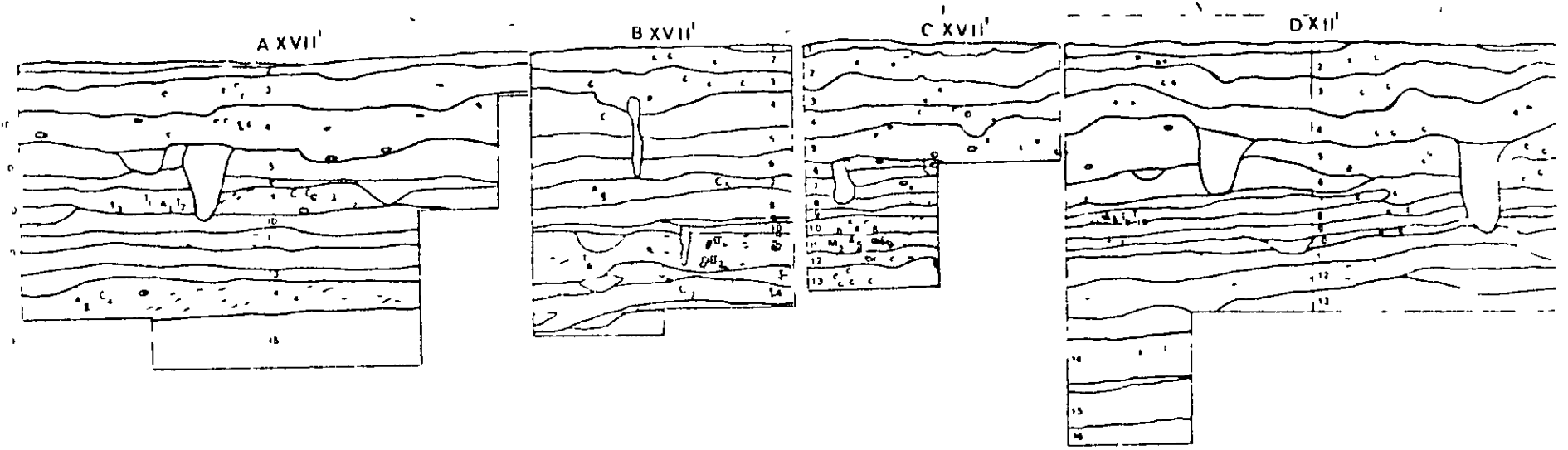
หลุมขุดค้น	ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุ (ปีก่อน ค.ศ. 1950)
A XVII'	210 - 230	7	ถ่าน 1 C_1	4,070 ± 550
			ถ่าน 2 C_2	4,800 ± 550
			ถ่าน 3 C_3	-
	310 - 320	14	ถ่าน 4 C_4	4,660 ± 520
B XVII'	230 - 250	7	ถ่าน 5 C_5	1,990 ± 240
	260 - 270	12	กระดูก 1 B_1	2,280 ± 330
	280 - 290	13	กระดูก 2 B_2	2,550 ± 310
	300 - 320	13	ถ่าน 6 C_6	-
	320 - 340	14	ถ่าน 7 C_7	4,570 ± 550

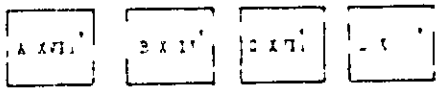
ตาราง 5 (ต่อ)

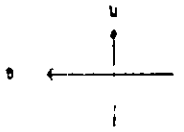
หลุมขุดค้น	ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ตรวจพบ	อายุของโบราณวัตถุ (ปีก่อน ค.ศ. 1950)
C XVII'	220 - 240	10	ถ่าน 8 C_8	3,400 ± 330
	240 - 260	11	ถ่าน 9 C_9	2,020 ± 250
D XVII'	230 - 250	7	หอย 1 S_1	1,220 ± 310

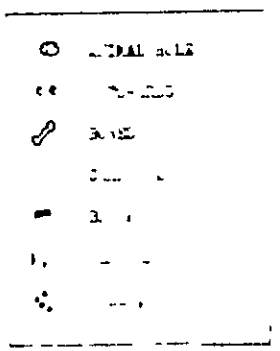
หมายเหตุ ข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดอายุของโบราณวัตถุโดยวิธีเรดิโอ-คาร์บอนเดทติ้ง ในหลุม A XVII', B XVII', C XVII', D XVII' ตาราง 3 และตาราง 21 ในภาคผนวก

จากข้อมูลในตาราง 5 และภาพประกอบ 7 โบราณวัตถุในหลุมต่างๆซึ่งอยู่ในชั้นดินลึกกว่า จะมีอายุมากกว่าที่อยู่ในชั้นดินที่มีระดับความลึกน้อยกว่า เช่นในหลุม C XVII' ถ่าน 8 และถ่าน 9 มีอายุขัดแย้งกัน แม้ว่าถ่าน 8 อยู่ในชั้นดินที่ 10 และถ่าน 9 อยู่ในชั้นดินที่ 11 ก็ตาม ส่วนถ่าน 5 และถ่าน 6 นำมาหาค่าเฉลี่ยอายุได้เนื่องจากมีขนาดและชนิดที่เหมือนกันมีปริมาณน้อยไม่ถึงจะนำมาวัดรังสีได้









ภาพประกอบ 7 แสดงแผนผังของชั้นดิน, ความลึกของชั้นดินที่บ้านคูเมือง ต.ห้วยชัน อ.อินทร์บุรี จ. สิงห์บุรี

ตาราง 6 แสดงถึงอายุของโบราณวัตถุอื่นที่ขุดพบและกำหนดโดยอาศัยรูปแบบทางศิลป ในระดับความลึกต่างๆ[1, 2, 3, 4]

หลุมขุดค้น	ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุ
A XVII	200 - 210	7	ทะลายดินเผา T_1	1,500-1,300
	210 - 230	7	ลูกปัดสีดำ A_1	1,300-900
			ก้นภาชนะดินเผา T_2 (เนื้อแกร่ง)	4,000-2,300
			ชิ้นส่วนภาชนะดินเผา	
			สีแดง T_3	1,900-900
	290 - 310	14	แวดินเผา T_4	4,000-1,000
			ลูกปัดสีเหลือง A_2	1,900-900
B XVII	220 - 230	7,8	ลูกปัดดินเผาสีดำ A_3	1,900-900
	280 - 300	12	เบี้ยดินเผา T_5	2,100-1,000
			ส่วนฐานของภาชนะดินเผา T_6	2,000-1,800

[1] ยาสุย อิเดะราวุร "ภาชนะดินเผาสมัยทวารวดี" ใน เครื่องถ้วยในประเทศไทย หน้า 39-62

[2] ชิน บุญถี ย่านควนตาเมธร หน้า 1-22

[3] เฮิน หงส์ภักดี จันเสนเมืองโบราณ หน้า 1-30

[4] B. Bronson, Excouation at Chanson and the cultural central Thailand. p.453.

ตาราง 6 (ต่อ)

กลุ่ม	ระดับความลึก	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุ
B XVII'	300 - 320	14	ตุ้มหูทะกั๊ว M_2	2,000-1,600
	300 - 340	14	ชิ้นส่วนหัวงูกาดินเผา T_7	2,000-1,600
C XVII'	220 - 240	10	ภาชนะดินเผา(ชิ้นส่วน) T_8	1,900-1,500
			ลูกปัดหินน้ำเงิน A_4	1,900-1,000
	240 - 260	11	ตุ้มหูทะกั๊ว M_2	2,000-1,600
			ลูกปัดหินเผาสีแดง A_5	1,900-1,000
D XVII'	210 - 230	7	ลูกปัดสีแดง A_6	1,900-1,500
	230 - 250	8	ภาชนะดินเผา T_9	1,900-1,600
			ภาชนะดินเผา T_{10}	1,900-1,600

หมายเหตุ การประมาณอายุของโบราณวัตถุนี้โดยวิธีรูปแบบทางศิลป อาศัยจากการเปรียบเทียบของผู้เขียนกับของมหาวิทยาลัยศิลปากร เปรียบเทียบไว้ในหนังสือและอ่างวิงกับหนังสือซึ่งมีโบราณวัตถุคล้ายคลึงกัน

ตาราง 7 เปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติ้งกับโบราณวัตถุที่เป็นหลักฐานทางโบราณคดีกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปในหลุม A XVII

ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดย	
			วิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติ้ง	รูปแบบทางศิลป
200 – 210	7	ตะคันดินเผา T_1		1,500-1,300
210 – 230	7	ถ่าน 1 C_1	4,070 ± 250	
		ถ่าน 2 C_2	4,800 ± 330	
		ถ่าน 3 C_3	-	
		ลูกปัดหินดำ A_1		1,900-900
		ภาชนะดินเผา T_2		
		(เนื้อแกร่ง)		4,000-2,000
		ชิ้นส่วนของหม้อก้น T_3		2,000-1,800
290 – 310	12	ลูกปัดแก้วสีเหลือง A_2		1,500-500
		แวดินเผา T_4		4,000-2,000
310 – 320	14	ถ่าน 4 C_4	4,860 ± 320	

ในหลุม A XVII อายุของถ่าน 1, 2 มีอายุสัมพันธ์กับโบราณวัตถุบางชิ้นที่อยู่ในระดับชั้นดินเดียวกัน คือ ภาชนะดินเผาเนื้อแกร่ง ส่วนตะคันดินเผา, ลูกปัด, ชิ้นส่วนของหม้อก้นเผา ไม่สัมพันธ์กัน แม้ว่าจะอยู่ในชั้นดินเดียวกันก็ตาม ดังนั้น ลูกปัด, ตะคันดินเผา, ชิ้นส่วนของหม้อก้นเผา น่าจะมีอายุประมาณ 3,400 – 4,000 ปี สำหรับถ่าน 4 กับแวดินเผาซึ่งอยู่ในระดับเดียวกัน มีอายุแตกต่างกันราว 500 – 1,000 ปี แสดงว่าแวดินเผาน่าจะมีอายุประมาณ 4,500 – 5,200 ปี

ตาราง 6 เปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติ้งกับโบราณวัตถุที่เป็นหลักฐานทางโบราณคดีกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปในหลุม B XVII

ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดย	
			วิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติ้ง	รูปแบบทางศิลป
220 - 230	7	ถ่าน 5 C_5	1,890 ± 540	
	7	ลูกปัดดินเผาสีส้ม A_3		1,900-500
260 - 270	12	กระดูก 1 B_1	2,280 ± 330	
270 - 300	12	เปลือกหอยเผา B_2		2,100-1,600
		ส่วนฐานของภาชนะดินเผา T_6		2,000-1,800
300 - 320	13	ถ่าน 6 C_6		
	13	ขุมหูตะกั่ว M_1		2,100-1,900
320 - 240	14	ถ่าน 7 C_7	4,370 ± 350	
300 - 340	13,14	ชิ้นส่วนหวยกาดินเผา T_7		2,100-1,900

ในหลุม B XVII อายุของถ่านและกระดูกที่อยู่ในชั้นดินที่มีระดับความลึก 270-300 เซนติเมตร กับอายุของโบราณวัตถุอื่นในชั้นดินเดียวกันมีอายุสัมพันธ์กัน ดังนั้น ลูกปัดดินเผาควรมีอายุ 1,350-2,430 ปี, ส่วนเปลือกหอย, ส่วนฐานของภาชนะดินเผาควรจะมีอายุ 2,000-2,600 ปี สำหรับถ่าน 6 ไม่สามารถที่จะกำหนดหาอายุได้ เนื่องจากปริมาณเบนซีนที่เตรียมได้น้อย และถ่าน 7 กับอายุของโบราณวัตถุอื่นมีอายุไม่สัมพันธ์กับอายุของถ่าน 7 มากกว่าอายุของชิ้นส่วนหวยกาและขุมหูตะกั่ว แม้ว่าชิ้นส่วนหวยกาและขุมหูตะกั่วจะอยู่ในชั้นดินเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน ดังนั้นควรจะมีอายุ 4,000-4,700 ปี

ตาราง 9 เปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนโดยทั่วกับโบราณวัตถุที่เป็นหลักฐานทางโบราณคดีกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปในหลุม C XVII'

ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดย	
			วิธีเรดิโอคาร์บอนเปรียบเทียบ	รูปแบบทางศิลป
220 - 240	10	ถ่าน 8 C_8	3,420 ± 350	
	10	ภาชนะดินเผา T_9 (ชิ้นส่วน)		1,500-500
	10	ลูกปัดแก้วสีน้ำเงิน A_4		1,500-500
240 - 260	11	ถ่าน 9 C_9	2,020 ± 250	
	11	ตุ้มหูกะกั่ว M_2		2,500-1,800
	11	ลูกปัดดินเผาสีแดง A_5		1,500-500

ในหลุม C XVII' นี้ ถ่าน 8 และ 9 มีอายุขัดแย้งกัน แม้ว่าถ่าน 8 จะอยู่ในชั้นดินที่ 10 และถ่าน 9 อยู่ในชั้นดินที่ 11 ก็ตาม แต่เมื่อว่าถ่าน 8 มีอายุสัมพันธ์กับอายุของโบราณวัตถุอื่นที่อยู่ในระดับเดียวกัน ซึ่งโบราณวัตถุอื่นควรจะมีอายุ 3,100-3,700 ปี ส่วนถ่าน 9 มีอายุสัมพันธ์กับโบราณวัตถุอื่นในชั้นดินเดียวกันควรจะมีอายุ 1,800 - 2,200 ปี

ตาราง 10 เปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเคทติ้งกับโบราณวัตถุที่เป็นหลักฐานทางโบราณคดีกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปในห้องชุม D XVII'

ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดย	
			วิธีเรดิโอคาร์บอนเคทติ้ง	รูปแบบทางศิลป
210 - 230	7	ลูกปัดแก้วสีแดง A_6		1,000-900
250 - 250	7	หอย 1 S_1	1,220 ± 310	
	7	ฝาภาชนะ T_9		1,500-900
	7	ภาชนะดินเผา I_{10} (ชิ้นส่วน)		1,000-900

ในห้องชุม D XVII' อายุของหอยกับอายุของโบราณวัตถุอื่นจะมีอายุสัมพันธ์กัน แต่อยู่ในระดับ 7 ดังนั้น การประมาณของหอยต่างชั้นดินก็ได้อายุที่ได้นั้นเป็นโดยเฉลี่ย และโบราณวัตถุในชั้นดินนี้ควรจะมีอายุ 900 - 1,500 ปี

โบราณวัตถุที่นำมาจากโคกเนยดี ต.ท่าช้าง อ.เมืองลพบุรี ซึ่งได้นำมากำหนดอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเทคนิค และโบราณวัตถุที่พบอยู่ในชั้นดินระดับต่างๆ ที่สามารถกำหนดโดยอาศัยรูปแบบทางศิลป์ ดังรายละเอียดในตาราง 11,12 และภาพประกอบ 8

ตาราง 11 แสดงถึงอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเทคนิค

ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุ (ปีก่อน ค.ศ. 1950)
230 - 240	6	โครงกระดูกที่ 2 B_2	2,100 ± 290
		โครงกระดูกที่ 5 B_5	2,120 ± 320
250 - 260	6	โครงกระดูกที่ 4 B_4	-
260 - 270	6	โครงกระดูกที่ 3 B_3	-
320 - 330	6	โครงกระดูกที่ 7 B_7	2,540 ± 320
		โครงกระดูกที่ 8 B_8	2,020 ± 320
350 - 370	7	โครงกระดูกที่ 6 B_6	3,000 ± 100
420 - 450	7	โครงกระดูกที่ 9 B_9	6,470 ± 370
430 - 440	7	โครงกระดูกที่ 10 B_{10}	6,410 ± 100
580 - 600	8	ถ่าน C_1	6,060 ± 450
670 - 700	8	โครงกระดูกที่ 11 B_{11}	6,600 ± 420
		หอย S_1	4,600 ± 350
780 - 800	10	หอย S_2	4,520 ± 310

สำหรับข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับการคำนวณหาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอน-เดทติง ดังตาราง 22 ในภาคผนวก

จากตาราง 11 และภาพประกอบ โบราณวัตถุที่อยู่ในชั้นดินระดับเดียวกันมีอายุใกล้เคียงกันและอายุเก่าขึ้นเมื่ออยู่ในชั้นดินที่มีระดับความลึกมากขึ้น รวมทั้งในชั้นดินเดียวกันแต่มีความลึกมากกว่าอายุของโบราณวัตถุก็เก่าขึ้นด้วย และพบว่าในชั้นดินที่ 8 ระดับความลึกเดียวกัน หอยที่อยู่ในชั้นดินที่ 10 ระดับความลึก 780 - 600 เซนติเมตร มีอายุน้อยกว่าทั้งที่อยู่ลึกกว่า

ตาราง 12 แสดงถึงโบราณวัตถุที่สามารถกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลป[1,2,3]

ระดับความลึก(ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุ
210 - 220	6	เครื่องมือหินขัด D_1	4,000 - 2,000
230 - 240	6	ขวานหินขัด F_1	4,000 - 2,000
		กำไลหิน G_1	4,000 - 2,000
		ลูกปัดเครื่องประดับ M_1	4,000 - 2,000

[1] ธีระ สุจิตต์ และ ดำรงเกียรติ นกสุด "โคกพนมดี" เมืองโบราณ 3 : 71-76 กุมภาพันธ์ - มีนาคม 2522

[2] ชิน อยู่ดี กลุ่มหินประวัติศาสตร์ หน้า 1-80

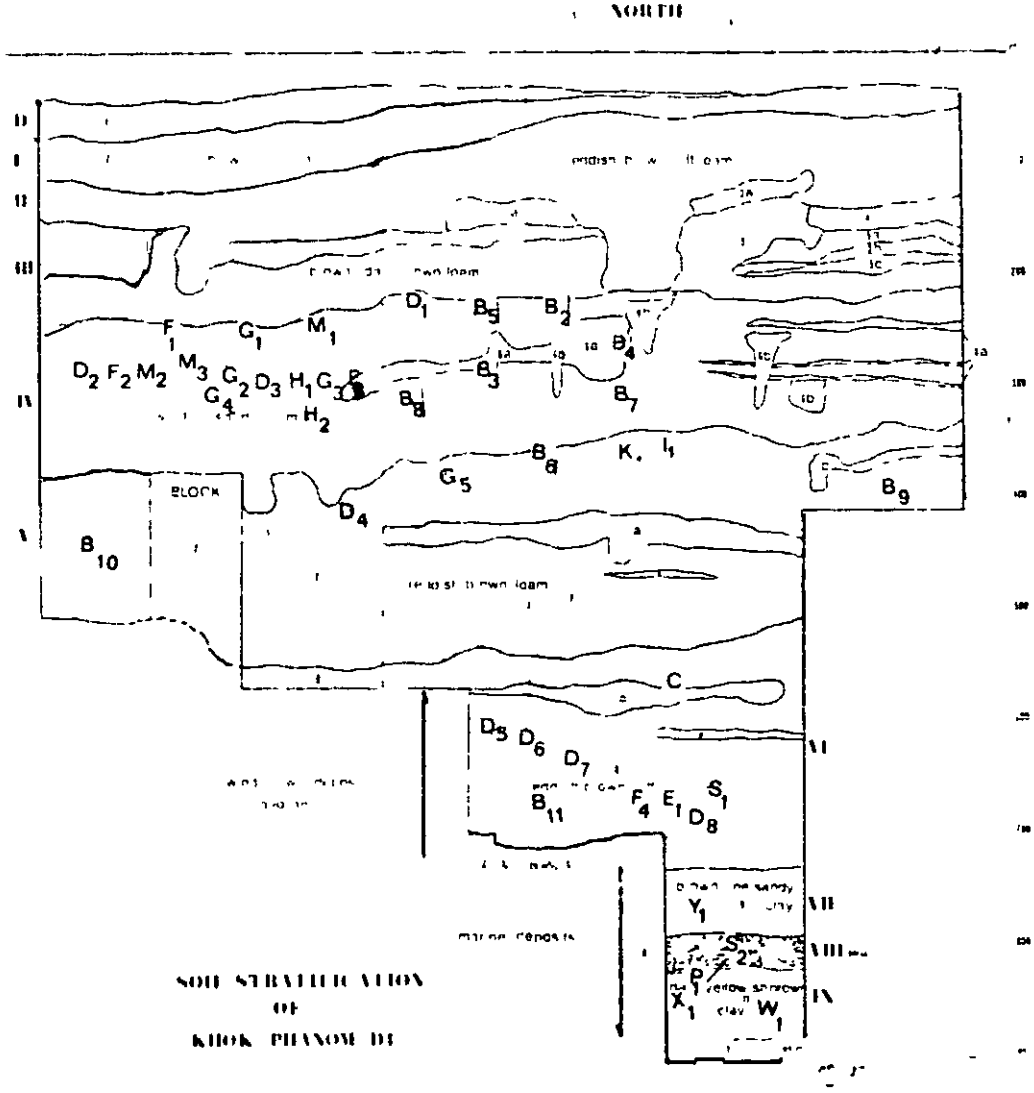
[3] ชิน อยู่ดี บ้านเชียง หน้า 1-165

ตาราง 12 (ต่อ)

ระยะความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโรงงานอุตสาหกรรม	ค่าใช้จ่ายในการขุด
250 - 260	6	เครื่องมือเจาะ (มีเครื่องกลเจาะ) D_2	4,000 - 2,000
		ขวานขนาดใหญ่ F_2	4,000 - 2,000
		ถูกบิด M_2	4,000 - 2,000
260 - 270	6	ถูกสูบ M_3	4,000 - 2,000
		กำไรขนาดเล็ก (ลำรุด) G_2	4,000 - 2,000
270 - 280	6	ชิ้นส่วนเครื่องขนาดใหญ่ D_3	4,000 - 2,000
		กระดูกดินเหนียว H_1	4,000 - 2,000
		กำไรขนาดลำรุด G_3	4,000 - 2,000
		ขวานขนาดใหญ่ F_3	4,000 - 2,000
300 - 310	6	กำไรขนาด G_4	4,000 - 2,000
300 - 350	6	กระดูกดินเหนียว H_2	4,000 - 2,000
350 - 370	7	เขี้ยวดินเหนียว I_1	4,000 - 2,000
		เครื่องเจาะสำหรับเจาะหิน K_1	4,000 - 2,000
370 - 390	7	กำไรขนาดลำรุด G_5	4,000 - 2,000
440 - 460	7	เครื่องขนาดใหญ่ สำหรับขุดเจาะใช้เรียบและชิ้นงาน D_4	2,000 - 1,000
600 - 620	8	เครื่องมือขนาดใหญ่ D_5	4,000 - 2,000
600 - 640	8	เครื่องมือสำหรับเจาะ (ทราย) D_6	10,440 - 8,350

ตาราง 12 (ต่อ)

ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุ
640 - 670	8	เครื่องมือหินขัดใช้สำหรับ	
		ขัดผิว D_7	5,000 - 1,000
670 - 700	8	ขวานหินขัดบุด F_4	4,000 - 2,000
		เครื่องประดับกระดูกสัตว์ E_1	4,000 - 2,000
		เครื่องมือทำด้วยเปลือกหอย S_8	5,000 - 1,000
700 - 780	9	เครื่องมือเปลือกหอย K_1	5,000 - 1,000
800 - 820	10	กากของก้นเตา P_1	5,000 - 1,000
860 - 880	11	ดินเผา X_1	5,000 - 1,000
		ตุ้มถ่วงแห W_1	3,680 - 3,330



B = โครงกระดูก D = เครื่องมือหินขัด F = ขวานหินขัด G = กาไลหิน

M = ลูกปัด H = กระสุนดินเผา K = เครื่องประดับเปลือกหอย

E = เครื่องประดับกระดูกสัตว์ Y = เครื่องมือเปลือกหอย

P = ภาชนะดินเผา X = ตินดุ W = ตุ้มถ่วงแห I = เบี้ยดินเผา

ภาพประกอบ 8 แสดงชั้นดิน, ความลึกของชั้นดิน, ตำแหน่งของโบราณวัตถุ

ตาราง 13 เปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติงกับโบราณวัตถุที่เป็นหลักฐานทางโบราณคดีกำหนดอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลป ระดับความลึก 210 - 800 เซนติเมตร

ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดย	
			วิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติง	รูปแบบทางศิลป
210 - 220	6	เครื่องมือหินขัด D_1		4,000-2,000
230 - 240	6	โครงกระดูกที่ $2B_2$	2,100 ± 290	
		โครงกระดูกที่ 5 B_5	2,120 ± 320	
		ขวานหินขัด F_1		4,000-2,000
		กำไลหิน G_1		4,000-2,000
		ลูกปัดเครื่องประดับ M_1		4,000-2,000
250 - 260		โครงกระดูกที่ 4 B_4	(2,300)	
		เครื่องมือหินขัด (มีรอยกระเทาะ) D_2		4,000-2,000
		ขวานหินขัด F_2		4,000-2,000
		ลูกปัด M_2		4,000-2,000
260 - 270	6	โครงกระดูกที่ 3 B_3	(2,300)	
		ลูกปัด M_3		4,000-2,000
		กำไลหินชำรุด G_2		4,000-2,000
270 - 280	6	ชิ้นส่วนเครื่องมือหินขัด		4,000-2,000
		กระสุนดินเผา D_3		4,000-2,000
		กำไลหินชำรุด G_3		4,000-2,000
		ขวานหินขัด F_4		4,000-2,000

ตาราง 13 (ต่อ)

ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดย	
			วิธีเรดิโอคาร์บอนแอกซิเลอเรเตอร์	รูปแบบทางศิลปะ
300 - 310	6	กำไลหิน G_4		4,000-2,000
320 - 330	6	โครงกระดูกที่ 7 B_7	2 540 ± 320	
		โครงกระดูกที่ 8 B_8	2,320 ± 320	
330 - 350	6	กระดูกดินเผา H_2		4,000-2,000
350 - 370	7	โครงกระดูกที่ 6 B_6	5,100 ± 400	
		เบี้ยดินเผา I_1		4,000-2,000
		เครื่องประดับเปลือกหอย K_1		4,000-2,000
370 - 390	7	กำไลหินชำรุด G_5		4 000-2,000
390 - 400	7	เศษกำไลหิน G_6		4,000-2,000
420 - 450	7	โครงกระดูกที่ B_9	6,4 0 ± 370	
430 - 450	7	โครงกระดูกที่ 10 B_{10}	6,410 ± 400	
440 - 460	7	เครื่องมือหินขัดสำหรับ ขัดผิวให้เรียบและขึ้นมัน D_4		5,000-1,000
580 - 600	8	ถ่าน C_1	6,300 ± 400	
600 - 620	8	เครื่องมือหินขัด D_5		4,000-2,000
620 - 640	8	เครื่องมือหินกระเทาะ (หินราย) D_6		10,000-5,000
640 - 670	8	เครื่องมือหินสำหรับ ใช้ขัดผิว D_7		5,000-1,000
670 - 700	8	โครงกระดูกที่ 11 B_{11}	6,800 ± 420	

ตาราง 13 (ต่อ)

ระดับความลึก (ซม.)	ชั้นดิน	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดย	
			วิธีเรดิโอคาร์บอนเดตติง	รูปแบบทางโบราณคดี
670 - 700	8	หอย S_1	4,200 ± 250	
		ขวานหินขัดสำรา F_4		4,000-2,000
		เครื่องมือหินใช้ทำ		
		ด้ายหินตราย D_8		5,000-1,000
		เครื่องประดับทำ		
		ด้วยกระดูกสัตว์ E_1		4,000-2,000
770 - 780	9	เครื่องมือเปลือกหอย S_1		5,000-1,000
780 - 800	10	หอย S_2	4,520 ± 310	
800 - 820	11	ภาชนะดินเผา P_1		3,000-1,000

จากตาราง 13 เปรียบเทียบระหว่างอายุของโบราณวัตถุกับอายุของโบราณวัตถุอื่นที่กำหนดโดยอาศัยรูปแบบทางโบราณคดีที่แหล่งโบราณคดีโคกเมนี และเขาช่วง ดังนี้

ชั้นดินที่ 6 ระดับความลึก 230 - 240 เซนติเมตร โครงกระดูกที่ 2 และ 5 มีอายุเท่ากัน เมื่อเทียบกับอายุของโบราณวัตถุอื่น ได้แก่ เครื่องมือหินสับ, ขวานหินขัด, กำไลหิน, ลูกปัดเครื่องประดับ เป็นต้น แสดงว่า โครงกระดูกนี้เป็นโครงกระดูกของมนุษย์ที่อยู่ร่วมยุคหินใหม่ตอนปลาย และอายุของโบราณวัตถุอื่นควรจะมีอายุอยู่ระหว่าง 1,900 - 2,100 ปี

ชั้นดินที่ 6 ระดับความลึก 250 - 270 เซนติเมตร โครงกระดูกที่ 4 และ 3 ไม่สามารถกำหนดอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดตติง โครงกระดูกที่ 3 และ 4 อยู่ระหว่างโครงกระดูกที่ 2, 5 กับ โครงกระดูกที่ 7, 8 ซึ่งอยู่ในชั้นดินเดียวกันทำให้

ดาดตะกั่วว่าอายุของโครงกระดูกที่ 3 และ 4 ควรจะมีอายุโดยประมาณ 2,300 ปี

ชั้นดินที่ 6 ระดับความลึก 520 - 530 เซนติเมตร โครงกระดูกที่ 7, 8 มีอายุใกล้เคียงกัน โบราณวัตถุอื่นที่อยู่ในช่วงนี้ควรจะมีอายุประมาณ 2,300 - 2,600 ปี

ชั้นดินที่ 7 ระดับความลึก 540 - 550 เซนติเมตร โครงกระดูกที่ 6 มีอายุมากกว่าอายุของโบราณวัตถุชิ้นที่กำหนดโดยอาศัยรูปแบบทางศิลป ดังนั้นอายุของโบราณวัตถุอื่นควรจะอยู่ระหว่าง 5,200 - 6,000 ปี

ชั้นดินที่ 7 ระดับความลึก 420 - 450 เซนติเมตร โครงกระดูกที่ 9, 10 มีอายุเท่ากันและมีอายุมากกว่าอายุของโบราณวัตถุอื่น ซึ่งอายุของโบราณวัตถุอื่นควรจะมีอายุ 6,000 - 6,600 ปี

ชั้นดินที่ 7 นี้มีอายุของโบราณวัตถุต่างจากชั้นดินที่ 6 คือ ชั้นดินที่ 6 เป็นของยุคหินใหม่ตอนปลายและชั้นดินที่ 7 เป็นยุคหินใหม่ตอนต้นก่อนยุคสำริด

ชั้นดินที่ 8 ระดับความลึก 580 - 630 เซนติเมตร อายุของกำไลหินโบราณวัตถุอื่น เช่น เครื่องมือหินกระเทาะ เป็นต้น มีอายุใกล้เคียงกัน แต่โบราณวัตถุอื่นน่าจะมีอายุ 6,000 - 6,400 ปี

ชั้นดินที่ 9 ระดับความลึก 670 - 720 เซนติเมตร โครงกระดูกมีอายุมากกว่าหม้อสามขาซึ่งอยู่ในระดับความลึกเดียวกัน แสดงว่า หม้อสามขาอย่างที่มีอิทธิพลต่อเครื่องปั้นดินเผาในชั้นดินนี้มีอายุน้อยกว่า แต่ควรจะมีอายุ 6,400 - 7,200 ปี

บทที่ 5

บทย่อ สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

บทย่อ

ความมุ่งหมายในการวิจัย

หาอายุของโบราณวัตถุจากแหล่งโบราณคดีบ้านหูเมืองและโคกเมมี โดยวิธีเรดิโอคาร์บอนกัมมันตรังสี ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นดินกับอายุโบราณวัตถุและความสัมพันธ์ระหว่างอายุของโบราณวัตถุที่สัมพันธ์กับหลักฐานทางโบราณคดีอย่างอื่น

ตัวอย่างโบราณวัตถุ

ตัวอย่างโบราณวัตถุที่นำมาหาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนกัมมันตรังสีเป็นโบราณวัตถุที่ได้จากการขุดค้นที่บ้านหูเมืองซึ่งได้รับจากกรมโบราณคดี และโคกเมมีผู้วิจัยเก็บตัวอย่างด้วยตนเอง

เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยตัวอย่างโบราณวัตถุของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ และ Liquid Scintillation Counter เป็นเครื่องมือวัดปริมาณรังสีเบต้า

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เตรียมตัวอย่างโบราณวัตถุซึ่งมีทั้งถ่าน, กระดูกและฟัน ถ่านไม้ต้องคัดเลือกชนิดไม้ที่มีรากไม้ชอนไชน้อยที่สุด ส่วนกระดูกและฟันต้องล้างด้วยน้ำกลั่นและกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง

2. การวิเคราะห์ประกอบด้วยการวัดปริมาณรังสีและการคำนวณอายุแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

2.1 เตรียมตัวอย่างไอออกไซด์จากถ่านอย่างโบราณวัตถุโดยวิธีเคมี รวมกับออกซิเดชั่น ด้วยกรดเกลือ และเติมกรดไฮโดรฟลูออริก เข้มข้นลงในกรดผสมนี้

2.2 เตรียมอะเซทิลีนจากการย่อยตัวอย่างไอออกไซด์โดยเปลี่ยนแคลเซียมคาร์ไบด์-ไอออกไซด์เป็นการไฮดรอลิซิสด้วยน้ำกลั่นปริมาณมากเกินพอ

2.3 เตรียมเบนซีนจากอะเซทิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (เวนาเดียม เพนทอกไซด์, V_2O_5) ที่ได้รับการกระตุ้นที่เหมาะสมและทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะเปลี่ยนเบนซีนออกจากอะซิทิลีนโดยเวลาที่ใช้ประมาณ 15 เท่าของเวลาเฉลี่ย เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. การนับจำนวนรังสีของคาร์บอน-14 ด้วยเครื่องนับรังสีโดย Liquid Scintillation Counter โดยนับจากเบนซีนของตัวอย่างโบราณวัตถุ, กรดออกซาลิกมาตรฐานและเบนซีน E.Merch เป็นความแรงรังสีของ Back ground

4. การคำนวณหาอายุของโบราณวัตถุและความคลาดเคลื่อนของอายุโดยใช้สูตร

หาอายุของโบราณวัตถุ

$$t = Tm \ln \frac{Ao}{As}$$

หาความคลาดเคลื่อนของอายุ

$$dt = \frac{Tm}{10^3}\left[\frac{t^2(dTm)^2 x10^6}{Tm^4} + \frac{10^3}{Ao^2}\frac{(Ao+Ab)_3+Ab)_3}{To/10^3} + \frac{10^3}{As^2}\frac{(As+Ab)_3+Ab)_3}{Ts/10^3}\right]^{\frac{1}{2}}$$

5. นำอายุของโบราณวัตถุที่หาโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเทียบเปรียบเทียบกับอายุของโบราณวัตถุที่ทราบอายุโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปะ

6. หาอายุของโบราณวัตถุที่ขุดพบในโบราณสถานต่างๆ มาเปรียบเทียบกัน

<u>สรุปผลการวิจัย</u>

1. จากการศึกษาหาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเทียบของโบราณวัตถุที่ได้จากการขุดค้นเมื่อ พ.ศ. 2522 มาเปรียบเทียบกับโบราณวัตถุที่ทราบอายุโดยวิธี

อ.บันทายมาศ จ.สิงห์บุรี น่าจะเป็นกลุ่มชนกลุ่มแรกในราว 4,700 ปี และอยู่ต่อเนื่องมาหลายร้อยปี

2. ในหลุมขุดค้นต่างๆอายุแก่กว่าโบราณวัตถุเริ่มขึ้นเมื่อใกล้เคียงกับการเริ่มมีการใช้ภาชนะดินเผา ในบริเวณเดียวกันแต่ต่างกันที่ความลึกของชั้นดิน ในหลุมที่ห่างออกไปแต่อยู่ใกล้เคียงกันกับหลุม B XVII' และหลุมที่ห่างออกไปแต่อยู่ใกล้เคียงกันกับหลุม A XVII' อาจจะเชื่อมั่นได้ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อนำไปเทียบกับถ่าน 5 และ 6 ใน หลุม B XVII' และ D XVII' ตามลำดับอยู่ในชั้นดินเดียวกันแต่อายุต่างกันมากและถ่าน 1 และถ่าน 2 มีอายุมากกว่ากระดูก 1 และกระดูก 2 ในชั้นดินที่ 12 ของหลุม C XVII' และถ่าน 8 กับถ่าน 9 ในชั้นดินที่ 10, 11 ของหลุม C XVII'

3. จากการเปรียบเทียบผลการกำหนดอายุของโบราณวัตถุในชั้นดินเดียวกันและใกล้เคียงกันทั้ง 4 หลุม พบว่า ถ่าน 1 ในชั้นดินที่ 14 ของหลุม A XVII' มีอายุใกล้เคียงกับถ่าน 7 ในชั้นดินที่ 14 ของหลุม B XVII' คือ มีอายุ 4,860 ± 320 ปี และ 4,570 ± 350 ปี ตามลำดับ ถ่าน 5 ในชั้นดินที่ 7 ของหลุม B XVII' มีอายุใกล้เคียงกับถ่าน 1 ชั้นดินที่ 7 หลุม D XVII' คือ มีอายุ 1,850 ± 540 ปี และ 1,220 ± 310 ปี ตามลำดับ ถ่าน 9 ในชั้นดินที่ 11 หลุม C XVII' มีอายุใกล้เคียงและมีความสัมพันธ์กับกระดูก 1 และกระดูก 2 ในชั้นดินที่ 12 หลุม C XVII' คือ มีอายุ 2,020 ± 250 ปี, 2, 80 ± 330 ปี และ 2, 50 ± 310 ปี ตามลำดับ

4. จากอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเทียบกับอายุของโบราณวัตถุชิ้นที่กำหนดโดยการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพว่ามีความสัมพันธ์กันและมีอายุใกล้เคียงกันแล้วนั้นในระดับความลึก 220 - 240 เซนติเมตร หลุม C XVII' มีอายุน้อยกว่า แสดงว่า อายุของโบราณวัตถุอื่นๆที่ขุดพบจะมีอายุต่างๆใกล้เคียงกันกับอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเทคนิค

5. จากการกำหนดอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเทคนิคเมื่อนำมาเทียบกับอายุของโบราณวัตถุชิ้นที่กำหนดโดยวิธีวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ โบราณวัตถุ

ชั้นในชุมต่าง ๆ ควรจะมีอายุดังนี้

5.1 ชั้นดินที่ 7 ควรจะมีอายุ 1,200 - 1,900 ปี

5.2 ชั้นดินที่ 11, 12 ควรจะมีอายุ 2,000 - 2,400 ปี

5.3 ชั้นดินที่ 14 ควรจะมีอายุ 4,000 - 5,200 ปี

6. อายุของโบราณวัตถุที่ทำ นดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติ้งซึ่งนำมาจากแหล่งโบราณคดีโคกผมดี ต.ห้วยชัน อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี มีอายุระหว่าง 1,800 - 7,200 ปี

7. จากกลุ่มอายุของโบราณวัตถุของแหล่งโบราณคดีโคก ผมดี แบ่งได้ดังนี้

7.1 ชั้นดินที่ 6 มีระดับความลึก 210 - 240 เซนติเมตร อายุระหว่าง 1,800 - 2,400 ปี

7.2 ชั้นดินที่ 6 มีระดับความลึก 300 - 330 เซนติเมตร อายุระหว่าง 2,200 - 2,850 ปี

7.3 ชั้นดินที่ 7 มีระดับความลึก 350 - 370 เซนติเมตร อายุระหว่าง 5,200 - 6,000 ปี

7.4 ชั้นดินที่ 7 มีระดับความลึก 420 - 450 เซนติเมตร อายุระหว่าง 6,000 - 6,800 ปี

7.5 ชั้นดินที่ 8 มีระดับความลึก 580 - 600 เซนติเมตร อายุระหว่าง 6,000 - 6,500 ปี

7.6 ชั้นดินที่ 8 มีระดับความลึก 670 - 700 เซนติเมตร อายุระหว่าง 6,400 - 7,200 ปี

8. ชั้นดินในระดับความลึกต่าง ๆ ที่มีโบราณกระดูกและโบราณวัตถุอื่น ๆ เช่น เครื่องมือหินขัด, เครื่องประดับเปลือกหอย เป็นต้น เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น อายุของโบราณวัตถุ (โบราณกระดูก) เพิ่มขึ้น เช่นพบในชั้นดินที่ 8 ระดับความลึก 670 - 700 เซนติเมตร และพบในชั้นดินที่ 9 ระดับความลึก 780 - 800 เซนติเมตร มี

อายุขัดแย้งกับระดับความลึกและอายุของโครงกระดูกที่ 11

9. จากการเปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปกับอายุของโครงกระดูก พบว่า ในชั้นดินที่ 6 ระดับความลึก 230 - 330 เซนติเมตรมีอายุสัมพันธ์กันแต่ในชั้นดินที่ 7 ระดับความลึก 350 - 440 เซนติเมตร อายุไม่สัมพันธ์กับอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยอาศัยรูปแบบทางศิลป

10. จากการเปรียบเทียบอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติ้งกับที่กำหนดโดยอาศัยรูปแบบทางศิลปของแหล่งโบราณคดี อายุของโบราณวัตถุอื่น ๆ ควรจะมีอายุดังนี้

10.1 พวกที่อยู่ในชั้นดินที่ 6 ระดับความลึก 230 - 330 เซนติเมตร มีอายุระหว่าง 1,800 - 2,850 ปี

10.2 พวกที่อยู่ในชั้นดินที่ 7 ระดับความลึก 350 - 440 เซนติเมตร มีอายุระหว่าง 5,200 - 6,800 ปี

10.3 พวกที่อยู่ในชั้นดินที่ 8 ระดับความลึก 500 - 700 เซนติเมตร มีอายุระหว่าง 6,400 - 7,200 ปี

ข้อผิดพลาดซึ่งอาจจะเกิดจากการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างโบราณวัตถุนั้นมีความสำคัญต่อการหาอายุมาก โดยเฉพาะถ้าสิ่งที่เก็บจะต้องอยู่เป็นกลุ่มเดียวกัน ถ้าจำนวนกระจายกันอยู่อาจจะมาจากการขุดแต่งและหาอายุด้วยอายุ ภาชนะที่เก็บจำนวนจะต้องใช้มีการอินทรีย์ปนเปื้อนและต้องเก็บด้วยความระมัดระวัง สิ่งสำคัญ ๆ ต้องมีปริมาณมาก ๆ สำหรับใช้ในการสังเกตเฉพาะเป็นอย่าง

2. การเตรียมการจากตัวอย่าง จำนวนที่นำมาเตรียมการย่อมไม่ออกไปได้ จะต้องเผื่อไว้เรื่อย ๆ จากต้นไม้ปัจจุบันประมาณนั้นจะทำให้อายุของโบราณวัตถุเกิดการผิดพลาดได้ เนื่องจากหาได้โบราณวัตถุมีปริมาณคาร์บอน-14 มากขึ้น ทำให้อายุที่หาได้ด้วยกว่าอายุจริง, ส่วนกระดูกและของอย่างนี้มาจากจะต้องขจัดคาร์บอเนตในเวลาสั้น

ลงให้ช้าลงซึ่งมีโมเลกุลอยู่และมีการแลกเปลี่ยนคาร์บอนจากน้ำที่ยังมีชีวิตอยู่ ทำให้อายุมากกว่าหรือน้อยกว่าอายุจริง

3. การรั่วซึมของเครื่องมือทำให้อากาศแทรกเข้าแทนที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์การโยกและอาจนะที่ใช้เก็บก๊าซ

4. เครื่องนับนับปริมาณรังสีของเครื่อง LKB-14 ซึ่งเป็นเครื่องไลแบบ Liquid Scintillation Counter เนื่องจากเครื่องมืออยู่ในบริเวณใกล้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูจึงมีรังสีจากเครื่องปฏิกรณ์มารบกวน ทำให้ปริมาณรังสีที่ได้เพิ่มมากกว่าที่เป็นจริง นอกจากนี้ยังมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เข้าสู่เครื่องนับเมื่อครั้งที่จะทำให้เกิดการวัดปริมาณรังสีไม่ถูกต้อง เช่น เกิดการรบกวนเป็น เช่นให้ปริมาณรังสีที่วัดได้เป็นข้อมูลที่ผิดพลาดได้

5. ปริมาณเบนซีนที่เตรียมจากตัวอย่างโบราณวัตถุมีปริมาณน้อยกว่า 2 ซี.ซี. ซึ่งจำเป็นจะต้องเติมเบนซีน E.Merch ลงไปจนกระทั่งได้ปริมาณรวม 2 ซี.ซี. ถ้าเบนซีนมีปริมาณน้อยๆ จะทำให้การวัดปริมาณรังสีทำได้ยากและมีความผิดพลาดสูง เครื่องมือวัดปริมาณรังสีจะวัดได้เฉพาะรังสีที่มาจากตัวอย่างเท่านั้น ซึ่งรวมทั้งรังสีของ Back ground และเมื่อนำรังสีที่วัดได้มาคำนวณหาอายุของโบราณวัตถุก็จะทำให้อายุของโบราณวัตถุเก่าเกินไปกว่าอายุจริงได้

<u>อภิปรายผลการวิจัย</u>

ในการนำตัวอย่างโบราณวัตถุมาหาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเปรียบเทียบกับแหล่งโบราณคดีข้างเคียงและโบราณคดีร่วมสมัยกันนั้น ความแตกต่างระหว่างอายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนกับอายุที่กำหนดโดยวิธีอื่นในระดับความเชื่อถือได้ และอายุของโบราณวัตถุอื่นที่กำหนดโดยลักษณะรูปแบบทางโบราณคดีปรากฏว่า

1. เบนซีนที่เตรียมจากโบราณวัตถุมีปริมาณระหว่าง 3.0 - 0.2 ซี.ซี. ซึ่งเบนซีนที่ได้นี้เป็นจำนวนมากที่จะนำมาวัดปริมาณรังสีจะต้องเติมเบนซีน E.Merch ลงไปเพื่อให้มีปริมาณได้ 2.0 ซี.ซี. เนื่องจากเบนซีนมีความจำเป็นต้องใช้ 2 ซี.ซี.

สาเหตุที่ทำให้ปริมาณเบนซีนที่เตรียมจากโบราณวัตถุไม่ถูกต้อง

1.1 ปริมาณของโบราณวัตถุที่นำมาเตรียมเบนซีนมีปริมาณน้อยเกินไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต้องใช้ปริมาณมากพอสมควร เพราะว่า โบราณวัตถุที่ได้จากการขุดค้น มักจะมีปริมาณน้อยและบางอย่าง เช่น กระดูกจะต้องรักษารูปร่างของโครงกระดูกไว้ไม่สามารถที่จะเอาปริมาณมากได้ด้วยเหตุผลว่า เรื่องนี้มาทำการหาอายุจะต้องทำลายกระดูกด้วย จึงเป็นปัญหาต่อการเตรียมเบนซีนให้มีปริมาณมากอย่างหนึ่ง

1.2 กรรมวิธีในการเตรียมเบนซีนแต่ละขั้นตอนจะต้องทำภายใต้ระบบสูญญากาศ ดังนั้นเมื่อมีการรั่วจะทำให้อากาศภายนอกเข้าไปรบกวนปฏิกิริยาบางขั้นตอน ซึ่งมีผลต่อเบนซีนที่ได้น้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนของการเตรียมคาร์ไบด์กลับได้ อาจประกอบกันกับการบอน เนื่องคาร์ไบด์ได้น้อยก็มีผลทำให้ได้เบนซีนเตรียมเบนซีนน้อยลง นอกจากนี้ยังมีการควบคุมขณะทำปฏิกิริยาและอัตราการไหลของก๊าซเข้าทำปฏิกิริยามีผลต่อการเตรียมคาร์ไบด์เช่นเดียวกัน

1.3 การเสียปริมาณของการบอนไดออกไซด์และอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการจัดการเก่าที่ด้วยไนโตรเจนเหลวนี้น้อยครั้ง โดยเฉพาะขั้นตอนที่จับการบอนไดออกไซด์ 2 กรัม แต่จะใช้ 3 กรัม นอกจากนี้จะทำให้เปลี่ยนอะเซทิลีนเป็นเบนซีน อาจจะได้รับการกระทบที่ไม่ถึงระดับที่มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งเครื่องดูดยากาศมีความแรงมากเกินไปดูดเอาการบอนไดออกไซด์และอะเซทิลีนที่จับไว้ได้และอาจจะเกิดจากความเบื่อหน่ายบางประการของผู้เตรียมบ้างเล็กน้อย ซึ่งก็มีผลต่อปริมาณเบนซีนที่เตรียมได้เช่นกัน

2. อายุของโบราณวัตถุที่กำหนดโดยวิธีเรดิโอการบอนไดออกไซด์ในชั้นดินที่มีระดับความลึกต่างกัน ทั้งที่แหล่งโบราณคดีบ้านกู่เมืองและโคกพนมดี เมื่อลึกลงไปมีระดับความลึกมากขึ้น อายุของโบราณวัตถุเพิ่มขึ้นด้วย ในการขุดค้นโบราณวัตถุที่ได้นำมาตรวจวิเคราะห์โดยวิธีเรดิโอการบอนไดออกไซด์ หมู่ A'I' มีอายุดังตาราง 14 (สุรินทร์ ภู่ขาว และคณะ 2522 : 160)

ตาราง 14 แสดงถึงอายุของตัวอย่างโบราณวัตถุที่ถ้ำเขาหะลุ ซึ่งกำหนดอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติ่ง

กลุ่ม	หมายเลขตัวอย่าง	จำนวนการวิเคราะห์	ช่วงการกำหนดอายุ
A'I'	OAEP 053	2	3,420 ± 180
A'I'	OAEP 054	3	4,215 ± 95
A'I'	OAEP 056	1	7,550 ± 650
A'I'	OAEP 055	5	9,200 ± 550

และจากการกำหนดอายุตัวอย่างถ่าน โดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติ่งของโนนกกกา มีอายุดังตาราง 15 (ชีน ปยู่ดี 2517 : 66)

ตาราง 15 แสดงถึงอายุของตัวอย่างโบราณวัตถุที่โนนกกกา ซึ่งกำหนดอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเดทติ่ง

ชั้นดิน	ตัวอย่าง	ช่วงการกำหนดอายุ
9	Gak 908	710 ± 90
13	Gak 957	1,720 ± 80
17	Gak 1029	2,830 ± 130
20	Y 1857	3,170 ± 200

ยว่าแต่ละแห่งนี้ก็เช่นเดียวกันกับที่แหล่งโบราณคดีบ้านผู้เมืองและโคกพนมดี คือ อายุแหล่งโบราณวัตถุเรียงชั้นตามลำดับตามลึกของชั้นดินที่เก็บขึ้นมา

3. อายุของโบราณวัตถุบางชิ้นที่มีความใกล้เคียงกันมากกว่า เช่น อายุน้อยกว่า ซึ่งทั้งที่แหล่งโบราณวัตถุบ้านผู้เมืองและโคกพนมดี จังหวัดสุรินทร์ ดังตาราง 16 และ 17

ตาราง 16 แสดงถึงหลุม, ระดับความลึกของชั้นดิน, ชั้นดินและอายุของโบราณวัตถุที่แหล่งโบราณคดีบ้านผู้เมือง [illegible]

หลุม	ชั้นดิน	ระดับความลึก (ซม.)	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุ (ใกล้เคียง พ.ศ. 1950)
	10	220 - 240	ก้นหม้อ	3,430 ± 330
	11	240 - 260	ภาชนะ	2,020 ± 250

ตาราง 17 แสดงถึงชั้นดิน, ระดับความลึกของชั้นดิน, ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบและอายุของโบราณวัตถุที่แหล่งโบราณคดีโคกพนมดี [illegible]

ชั้นดิน	ระดับความลึก (ซม.)	ชนิดของโบราณวัตถุที่ขุดพบ	อายุของโบราณวัตถุ (ใกล้เคียง พ.ศ. 1950)
9	670 - 700	ไหเรือนกระดูกมนุษย์	6,630 ± 420
		ภาชนะ	4,900 ± 350
10	730 - 760	ภาชนะ	4,520 ± 310

จากข้อสรุปดังกล่าวข้างต้นว่าเพราะเหตุใด จึงเป็นดังข้อสรุปซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.1 อาจารย์ยิ้น อยู่ดี ได้อธิบายเกี่ยวกับอายุของโบราณวัตถุที่อยู่ในชั้นดินที่มีระดับความลึกแตกต่างกันแต่อายุอาจคล้องกันได้ 4 ประการ ดังนี้ (ยิ้น อยู่ดี 2516 : 4)

ประการที่ 1 พื้นที่ซึ่งเคยเป็นก้นประวัติศาสตร์เคยอยู่ดังกล่าวนั้นไม่ได้ปรับเรียบ แต่เป็นหลุมเป็นบ่อ บางตอนสูง บางตอนต่ำ ต่อมาเมื่อดินทับถมกันมากขึ้น ก็มีผลทำให้ระดับบางแห่งอยู่ในระดับเดียวกัน

ประการที่ 2 คนรุ่นหลังขุดหลุมเสาใช้ของที่ไม่ใช้แล้ว ฝังหลุมอยู่ลึกลงไปในระดับดินของผู้ที่เคยอยู่มาก่อน เมื่อสิ่งของรุ่นหลังลงไปที่ก้นหลุมของรุ่นหลังจึงไปอยู่ในระดับเดียวกันกับของในรุ่นก่อน

ประการที่ 3 สัตว์ที่อยู่ในน้ำ เช่น หอย ปู ฯลฯ ซากของสิ่งที่อยู่บนผิวดินชั้นดินลงไปไว้ในชั้นดินที่ต่ำลงไปก็ได้

ประการที่ 4 คนรุ่นหลังขุดหลุมเสาหรือขุดหลุมฝังศพ เมื่อขุดดินชั้นดินล่างมาโบราณวัตถุที่อยู่ในชั้นดินที่ต่ำลงไปจึงเคลื่อนที่จากที่เดิมขึ้นมาอยู่ในชั้นดินที่มีระดับสูงกว่า

ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า ถ่าน, กระดูก (บางอย่าง เช่น กระดูกสัตว์) อาจจะเกิดจากการรวมตัวดินในสมัยต่างๆ จึงทำให้ถ่านแห่งนี้บางส่วนอยู่ในระดับที่ลึกกว่าหรือตื้นกว่าที่ควรจะอยู่ โดยเฉพาะบ้านภูเขียง ซึ่งเป็นแหล่งสุดท้ายโบราณสมัยศรีวิชัย (ผศ.ปรีชา กาญจนกิจ 2522 : ไม่มีหน้า) ย่อมมีการรบกวนดินมาก และในปัจจุบันก็ยังคงเป็นแหล่งชุมชนอยู่ และจากภาพประกอบ 7 ว่ามีรูที่เป็นหลุมฝังศพมากมาย ถ่านอาจจะเป็นถ่านที่มาจากแหล่งประกอบของบ้านเรือนที่ถูกเผา ซึ่งไม้เหล่านั้นอาจจะเป็นไม้ที่นำมาใช้ในการปลูกบ้านหลายชั่วอายุคนก็ได้ เนื่องจากว่าในปัจจุบันว่า ในบริเวณแหล่งชุมชนโบราณสมัยที่ยังใช้เป็นบ้าน

เก่ามาปนกับถ่านอื่น (ชิน อยู่ดี 2517 : 65) นอกจากนี้ยังพบว่าที่บ้านกู่เมืองมีร่องรอยของการรบกวนของดินที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายซึ่งเกิดจากน้ำท่วม (ศรีศักร วัลลิโภดม 2527 : 11) อาจจะทำให้วงปีของถ่านหรือเศษกระดูกสัตว์ถูกน้ำพัดพาเข้ามาสมในบริเวณนี้เป็นเหตุให้อายุของโบราณวัตถุที่ต่างชนิดกันมีอายุแตกต่างไป

3.2 การแลกเปลี่ยนคาร์บอเนตและสารประกอบคาร์บอเนต (มิลเลอร์ 1972 : 161-162) เนื่องจากน้ำที่เกิดจากน้ำฝนจะมีคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) ที่เกิดจากการรวมตัวของน้ำกับคาร์บอนไดออกไซด์จะมีบางส่วนที่มีคาร์บอน-14 เป็นองค์ประกอบ เมื่อน้ำฝนไหลซึมลงสู่ใต้ผิวดิน หรือกระดูกหรือเขาสัตว์ต่างๆ บริเวณผิวของมันจะได้รับการสะสมและแลกเปลี่ยนคาร์บอเนตอิสระกับน้ำที่ไหลซึมทำให้ปริมาณของคาร์บอน-14 ที่มีอยู่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ, ถ้าหากเขาสัตว์หรือกระดูกถูกน้ำใต้ดินซึมผ่านอยู่ตลอดเวลา จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนสะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งโดโลไมต์ซึ่งอยู่ในระดับความลึก 780 - 800 เซนติเมตร และมีเศษถ่านบางอย่างแสดงว่าบริเวณนี้อยู่ใกล้ชายน้ำมาก่อน (ศรีศักร วัลลิโภดม และ ดารงเกียรติ นิลสกุล 2522 : 71-76) อาจจะแช่อยู่ในน้ำหรืออยู่ในระดับน้ำใต้ดิน จึงทำให้อายุของถ่านที่ได้มีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

3.3 ปริมาณเบนซีนที่ใช้ในการวัดปริมาตรวัง ๆ เนื่องจากปริมาณเบนซีนที่ใช้ในการวัดควรจะมีปริมาตร 3, 2, 1.5 ซม.ซม. ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้เบนซีน 2 ซม.ซม. เป็นหลักในการคำนวณจากตาราง 21 ในภาคผนวก พบว่าเบนซีนที่เตรียมได้มีปริมาณไม่ครบ 2 ซม.ซม. เป็นส่วนใหญ่ และถึงแม้เบนซีน E.Merch ของไทยที่ใช้ปริมาณครบที่วัดได้ อาจจะเกิดข้อผิดพลาดจากการเปียกหวีดูดเพื่อให้ได้ปริมาณครบ 2 ซม.ซม. และทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องมือลดลง

3.4 การปะปนของคาร์บอนใหม่ (Modern Carbon) กับคาร์บอนเก่า (Old Carbon) ในโบราณวัตถุ การปะปนนี้อาจจะเกิดได้หลายประการคือ

3.4.1 การรั่วซึมของเครื่องมือเครื่องใช้การย้อมไซโตเคมีโดยเฉพาะกรรมวิธีต่างๆ, วางไดเปิด จะทำให้การย้อมไซโตเคมีผิดพลาดได้ ซึ่งมีการย้อมที่เป็นการย้อมไม่ติดสีเข้าไป เป็นผลให้อายุของโรคมะเร็งมีอายุน้อยลงได้ ซึ่ง Lee (1972 : 1-30) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการประเมินผลการย้อมไม่ติดสีในตัวอย่าง ดังตาราง 18

ตาราง 18 แสดงจำนวนของการประเมินผลของการย้อมไม่ติดสีในตัวอย่างปริมาณต่างๆ

อายุจริง	อายุโดยประมาณของตัวอย่างที่มีการย้อมไม่ติดสี (ปี)			
	1 %	5 %	20%	50 %
5,000	4,950	4,650	3,700	2,100
10,000	9,800	9,000	6,500	3,600
20,000	19,100	16,500	10,600	5,070
30,000	27,200	21,000	12,200	5,470
100,000	37,000			

3.4.2 การประเมินของรากไม้, เนื้อเยื่อปัจจุบันในตัวอย่างที่ตัดมาจากเนื้องอก เป็นไปตามข้อ 3.1 ประการที่ 3 เนื่องจากเนื้อเยื่อจะมีการแบ่งระหว่างที่เซลล์ส่วนของตัวอย่างที่แข็งตัวกับการย้อมไม่ติดสีได้มีอายุน้อยลง

3.4.3 การประเมินของเนื้อเยื่อที่ถูกตัดมาจากเนื้องอกมาจากว่าโรงวัตถุที่ใช้อยู่ตามเซลล์ต่างๆ เช่น บ้านถูกเนื้องในที่ลุ่มและโรงดีเป็นเนื้องอกของเนื้อเยื่อ ซึ่งแต่ละอย่างอาจจะมีการย้อมมาจากเนื้อเยื่อที่ตายมาก่อน ซึ่งอาจมีการย้อมเท่าไม่ติดสีมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้ดูเหมือน

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอน-14ลดลง เมื่อหอยและกระดูกเก่าน้ำหนักเท่ากันอายุจะทำให้ได้อายุมีค่าเก่ากว่าที่ควร ซึ่งฮอนส์ (1972 : 1-30) ได้สาธิตและสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตาราง 12 แสดงถึงผลของการปะปนของคาร์บอนเก่าในตัวอย่างปริมาณต่างๆ

อายุจริง	อายุโดยปรากฏของตัวอย่างที่คาร์บอนเก่าปะปน(ปี)			
	5 %	10 %	20 %	50 %
500	900	1,300	2,200	6,000
5,000	5,400	5,800	6,700	10,000
10,000	10,400	10,800	11,700	15,500
20,000	20,800	21,200	21,700	25,500

ดังนั้นการปะปนของคาร์บอนเก่าและใหม่ในตัวอย่างที่ทำการหาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนเลคติง จึงเป็นเรื่องสำคัญ เพราะว่า อายุของโบราณวัตถุบางสิ่งบางอย่างที่ยอมว่า อาจจะมีการปะปนของคาร์บอนใหม่และเก่าได้ เป็นผลให้อายุออกมาแตกต่างกันได้มาก

ข้อควรระวังและข้อเสนอแนะ

1. ปริมาณตัวอย่างที่นำมาหาอายุโดยวิธีเรดิโอคาร์บอนนั้น ควรใช้มีน้ำหนักที่สุดเท่าที่มากได้ โดยมีเนื้อเยื่อของโบราณวัตถุโดยเฉพาะโครงกระดูก ควรจะเก็บตัวอย่างกระดูกส่วนกระดูกแข้ง สังเกตไม่ค่อยมีโครงสร้างภายใน ส่วนที่นำมาหาอายุ ควรเป็นส่วนที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันไม่มีรากเม็ดปน และมีการวิจารณาก่อนที่จะเก็บตัวอย่างว่าถ่านกลุ่มนั้นเกิดจากกระไร เช่น ถ่านเกิดจากการหุงต้ม, เผาเผาถ่านกระดูกเผา, จากการเผาศพ เป็นต้น เพื่อเป็นประโยชน์ในการตีความหมายได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

2. เครื่องมือที่ใช้ในการสังเคราะห์เบนซีนควรมีส่วนประกอบ 2 ส่วน แต่ละส่วนควรมีเครื่องทำสูญญากาศ (Vaccuum pump) เพื่อที่จะสามารถเตรียมการ์บอนไดออกไซด์ได้ต่างวาระโดยไม่ต้องขึ้นตอนอื่นเป็นส่วนใหญ่ จึงจะสามารถเตรียมการ์บอนไดออกไซด์ได้ รวมทั้งจะสามารถเตรียมการ์ไบด์ได้จากตัวอย่างเดิมด้วย ซึ่งสามารถดำเนินไปพร้อมกับการเตรียมการ์บอนไดออกไซด์

3. การจัดให้มีห้องปฏิบัติการมาตรฐาน ควรมีกระทำเป็นประจำ 2 ปีครั้ง และวัดรังสีของ Back ground ทุกสัปดาห์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณรังสีควรจะเก็บเครื่องมือเหล่านี้ไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้

4. ควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเตรียมการ์ไบด์จากการ์บอนไดออกไซด์และวัสดุที่ได้จากการ์ไบด์

5. ควรมีการศึกษาถึงการหาตะกั่วในแร่ที่มีราคาถูกและสามารถที่จะทำขึ้นได้เองในประเทศไทยโดยไม่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ

6. การกำหนดอายุโบราณวัตถุควรจะทำการโดยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนส์ (Thermoluminescence) เพื่อใช้เปรียบเทียบกับอายุที่ได้จากวิธีเรดิโอคาร์บอนด้วย นอกจากนี้ควรมีการศึกษาโครงสร้างภายในของเครื่องปั้นดินเผาด้วย เพื่อใช้ประกอบในการกำหนดอายุ จะได้ความหมายได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

กฤษฎา ชุติมา หลักเกณฑ์ทั่วไป ห้างหุ้นส่วนสามัญ พิมพ์ครั้งที่ 2519, 655 หน้า

จิตร บัวบุศร อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา โรงพิมพ์การศาสนา 2512, 27 หน้า

ชยากร ศิริอุปถัมภ์ การวิจารณ์ชุดของโบราณวัตถุบางชิ้นจากบ้านเชียงโดยวิธีคาร์บอน-14 ปริญญานิพนธ์ ศ.ม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2518, 60 หน้า อัดสำเนา

ชาติชาย ร่มเย็น "ความสัมพันธ์ทางการค้าและการเมือง" ใน รายงานการขุดค้นและขุดแต่งโบราณสถานที่บ้านกู่เมือง ต.ด้วยชัย อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี ประจำปีการศึกษา 2520 หน้า 5 - 16 และโบราณคดี ภาควิชาโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร 2522

ชิน อยู่ดี บ้านเชียงตำนานใหม่ โรงพิมพ์พุทธศาสนา 2517 22 หน้า

_____ ศิลปวัฒนธรรมบ้านเชียง โรงพิมพ์พุทธศาสนา 2516, 23 หน้า

_____ งานศิลป์ โรงพิมพ์ศิลปกร 2519, 165 หน้า

ศรชัย สุวิภาค และ ดำรงเกียรติ นครกุล "ปากแม่น้ำ" เมืองโบราณ 3 : 71 - 76 กุมภาพันธ์ - มีนาคม 2522

ศรีศักร วัลลิโภดม "การขุดค้นอีกครั้ง" โบราณคดี 7 : 7 - 13 กรกฎาคม 2520

ศรีศักร วัลลิโภดม "ภาชนะดินเผาเชียงราย" ใน เครื่องถ้วยในประเทศไทย หน้า 59 - 62 อมรการพิมพ์ 2523

ประชา ศาลุขนาคม รายงานการขุดค้นและขุดแต่งโบราณสถานที่บ้านกู่เมือง ต.ด้วยชัย อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี ประจำปีการศึกษา 2520 และโบราณคดี ภาควิชาโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร 56 หน้า

เสถียร พงษ์ภักดี วัฒนธรรมเมืองโบราณ โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด 2520, 30 หน้า

สุด แสงวิเชียร ประวัติศาสตร์ โรงพิมพ์พุทธศาสนา 2512, 80 หน้า

_____ งานศิลป์ โรงพิมพ์พิมพ์ผล 2519, 165 หน้า

ศุภเดช ภู่ขจร และคณะ รายงานการวิเคราะห์ทางโบราณคดีบางส่วน ในโครงการขุดค้นขุดแต่งโบราณสถานและขุดค้นวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ ที่บ้านเก่า จ.กาญจนบุรี ประจำปี 2520 คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร 2522, 170 หน้า

กรีสดี วัลลิโภดม "ร่องรอยของชุมชนโบราณที่บ้านเก่า" เมืองโบราณ 5 : 71 - 76 กุมภาพันธ์ - มีนาคม 2522

Armstrong, W.P. and Jack Schybert. "Determination of Radioactive Carbon in Solid Sample," Analytical Chemistry. 20 : 270-277 February, 1948.

Bellumini, Giorgio, Luigia Delgino and Vincenzo Petrone, "Benzene synthesis for radiocarbon dating and study of the catalyst used for acetylene trimerization," J. of Applied Radioactive and isotope. 29 : 453-459, December, 1978.

Bosshart, R.E. and R.K. Young. "Preparation of gas sample for Liquid Scintillation counting of carbon-14," Analytical Chemistry 125 : 1117-1121, June, 1972.

Brannon, H.R. and others. "Humble and company radiocarbon dates II," Science 125 : 919-922, May, 1971.

Broecker, W.S. and Alan Wallen "Radiocarbon From Nuclear Tests " Science 130 : 309, February, 1959.

Broecker, W.S. and Edwin A. Olson. "Radiocarbon From Nuclear Tests II," Science 132 : 712-720, September, 1960.

Bronson, b. Excavation at Chansen and the cultural central Thailand Michican University 1975. 434 p.

Chammirokarant, Darakant, Rainer Berger and W.F. Libby. Radiocarbon in the Atmosphere, Food and Man in 1965 California University 1965, 11p.

Kigoshi, Kunikiko. "Recent Variation of Atmospheric Contenes of C-14 Air Tokyo and Transfer Problem of Atmosphere Carbondioxide," J. of Radiation Research 71 : 124-130, June, 1964.

Kigoshi, Kunikiko and Hiroichi Hasegawa. "Secular Variation of Atmosphere Radiocarbon Concentration and its Dependence on Geomantism," J. of Physical Research 71 : 1065-1071, February, 1966.

Larger, C and M.A. Tammer. "The Counting of Naturally Occuring Radiocarbon in the Form of Benzene in a Liquid Scintillation Counting," J. of Applied Radiation and Isotope 14 : 65-70, January, 1963.

Maner, Samuel H. and Carl F. Pruton. Principle of Physical Chemistry Macmillan Co. 1969. 886 p.

Michels, Joseph W. "Radiocarbon Dating Method" in Dating Method in Archaeology p. 148-167. New York, Seminar Press, 1972.

Noakes, John , Stephen Kim ans Lawrence Akers. "Recent Improvement in Benzene Chemistry for Radiocarbon Dating," Geochimica Acta 31 : 1094-1096, March, 1967.

Polash, M.A. The Benzene Radiocarbon Technique Australian National University 1970. 7 p.

Polash, M.A. and J. Golsen. Collection of Specimen for Radiocarbon Dating and Interpretation of Result Australian Institute of Aboriginal Studies 1972. 32 p.

Rafter, M.A. and G.J. Furguson. "The Atomic Bomb Effect," J. of Science and Technology 41 : 871-883, September, 1957.

Tammer, Murry A. "Carbon-14 Dating with Liquid Scintillation Counting Total Synthesis the Benzene Solvent," Science 132 : 660-669, September, 1962.

ภาคผนวก

ตาราง 20 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับการคำนวณค่าอายุของโบราณวัตถุจากแหล่งโบราณคดีบ้านดูเมือง

	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3
เนื้อที่เก็บตัวอย่าง (ตร.ซม.)	1.20	1.50	
เนื้อที่ B.Merch (ตร.ซม.)	0.50	0.50	
ปริมาณรังสีที่วัดได้ (cpm)	14.71	29.65	
ปริมาณรังสีในเนื้อตัวอย่าง 2 ตร.ซม.	15.56	31.41	
Ms+b	7,780.00	39,535.00	
Ts	500.00	1,300.00	
As+b	15.56	31.31	
Mb	4,228.00	36,853.00	
Tb	371.50	1,440.00	
Ab	11.38	25.59	
As	4.18	5.82	
Mt+b	6,694.00	51,249.00	
To	376.50	1,520.00	
At+b	17.78	35.71	
Mb	5,726.00	52,763.00	
Tb	502.22	1,440.00	
Ab	10.58	23.75	
At	7.20	10.96	
Ao	6.86	10.44	
t	4,070.00	4,800.00	
dt	350.00	350.00	

ตาราง 20 (ต่อ)

	ถาน 4	ถาน 5	ถาน 6
เมฆอินที่เหรียม (ซม.ซม.)	1.50	1.50	
เมฆม่น E.Merch (ซม.ซม.)	0.50	-	
ปริมาณรังสีที่วัดได้ (cpm)	29.55	16.82	
ปริมาณรังสีเฉลี่นตัวอย่าง 2 ซม.ซม.	21.09	16.82	
Ms+b	44,614.00	5,940.00	
Ts	1,435.00	353.18	
As+b	21.09	16.62	
Mb	35,396.00	4,228.00	
Tb	1,421.00	371.50	
Ab	24.90	11.38	
As	6.19	5.44	
Mt+b	40 352.00	6,624.00	
To	1,127.00	376.50	
At+b	25.72	17.70	
Mb	33,472.00	3,726.00	
Tb	1,252.00	352.22	
Ab	24.05	10.56	
At	11.74	7.2	
Ao	11.18	6.86	
t	4,860.00	1,050.00	
dt	320	540.00	

ตาราง 20 (ต่อ)

	ถาม 7	ถาม 8	ถาม 9
เฉลี่ยที่เตรียม (ม.ม.)	1.20	1.80	1.00
เฉลี่ย E.Merch (ม.ม.)	0.80	0.60	0.50
ปริมาณรังสีที่วัดได้ (cpm)	29.03	31.20	28.60
ปริมาณรังสีเฉลี่ยตัวอย่าง ± ม.ม.	31.85	31.96	30.75
Ms+b	45,545.00	24,609.00	45,933.00
Ts	1,430.00	770.00	1,427.00
As+b	31.85	31.96	30.76
Mb	32,036.00	32,141.00	30,429.00
Tb	1,292.00	1,292.00	1,360.00
Ab	24.80	24.80	22.05
As	7.05	7.16	8.73
Mt+b	32,440.00	32,615.00	40,332.00
To	1,486.00	1,127.00	1,127.00
At+b	35.20	35.20	35.79
Mb	32,666.00	33,160.00	33,472.00
Tb	1,440.00	1,292.00	1,334.00
Ab	22.69	23.82	24.05
At	12.60	11.38	11.74
Ao	12.06	10.84	11.18
t	4,370.00	2,430.00	2,020.00
dt	350.00	250.00	250.00

ตาราง 21 (ต่อ)

	กระดูก 1	กระดูก 2	ดิน 1
เบนชีเมเตรียม (ค.ย.ย.)	2.00	2.00	1.50
เบนชีน E.Merck (ค.ย.ม.)	-	-	-
ปริมาณรังสีที่วัดได้ (cpm)	34.64	34.25	17.10
ปริมาณรังสีเฉลี่ยตัวอย่าง 2 ค.ย.ม.	34.64	34.25	17.10
Ms+b	30,022.00	61,111.00	8,550.00
Ts	1,440.00	1,784.00	500.00
As+b	34.64	34.25	17.10
Mb	28,682.00	3c,083.00	4.018.00
Tb	1,132.00	1,506.00	372.56
Ab	25.56	25.25	10.79
As	9.08	9.00	6.31
Mt+b	52,440.00	52,440.00	6,677.00
To	1,486.00	1,406.00	371.54
At+b	35.29	35.29	17.98
Mb	32,606.00	32,606.00	5,542.00
Tb	1,440.00	1,440.00	365.91
Ab	22.61	22.61	10.27
At	12.60	12.60	7.71
Ao	12.00	12.00	7.44
t	2,280.00	2,350.00	1,220.00
dt	550.00	510.00	310.00

ตาราง 21 แสดงถึงข้อมูลเกี่ยวกับกำหนดค่าอายุของโบราณวัตถุจากแหล่งโบราณคดีโคกพนมดี

	โครงกระดูกที่ 2	โครงกระดูกที่ 3	โครงกระดูกที่ 4
เบตาสีที่เก็บได้ (ด.ช.ม.)	1.30		
เบตาสีน E.Merch (ด.ช.ม.)	0.70		
ปริมาณรังสีจากน้ำ (cpm)	33.79		
ปริมาณรังสีเบตาตัวอย่าง 2 ก.ช.ม.	37.03		
Ms+b	2,1774.00		
Ts	588.00		
As+b	37.03		
Mb	38,784.00		
Tb	1,397.00		
Ab	27.76		
As	9.37		
Mt+b	52,440.00		
Fo	1,486.07		
At+b	35.29		
Mb	32,602.00		
Tb	1,490.52		
Ab	22.56		
At	12.60		
Ao	12.00		
t	2,100.00		
dt	250.00		

ตาราง 21 (ต่อ)

	โครงการตัวอย่างที่ 5	โครงการตัวอย่างที่ 6	โครงการตัวอย่างที่ 7
เบนซีนที่เกรียม (ม.ซม.)	1.25	0.25	0.65
เบนซีน E.Merch (ม.ซม.)	0.75	1.75	1.35
ปริมาณรังสีที่วัดได้ (cpm)	32.27	27.25	29.35
ปริมาณรังสีเบนซีนตัวอย่าง 2 (ม.ซม.	35.74	32.56	35.29
Ms+b	53,795.00	34,579.00	50,818.00
Ts	1,510.00	1,062.00	1,440.00
As+b	35.74	32.56	35.29
Mb	36,139.00	36,139.00	36,139.00
Tb	1,440.00	1,440.00	1,440.00
Ab	26.49	26.49	26.49
As	9.25	6.07	8.80
Mt+b	52,440.00	52,440.00	52,440.00
To	1,486.00	1,486.00	1,486.0
At+b	35.29	35.29	35.29
Mb	32,862.0	32,862.00	32,862.00
Tb	1,440.00	1,440.00	1,440.00
Ab	22.69	22.69	22.69
At	12.60	12.60	12.60
Ao	12.00	12.00	12.00
t	2,120.00	5,600.00	2,540.00
dt	510.00	400.00	320.00

ตาราง 21 (ต่อ)

	โครงกระดูกที่ 8	โครงกระดูกที่ 9	โครงกระดูกที่ 10
เบตาอีเคียล(ซม.ซม.)	0.14	0.20	0.60
เบตาอีน E.Merch (ซม.ซม.)	1.86	1.80	1.40
ปริมาณรังสีที่วัดได้ (cpm)	27.44	25.64	28.34
ปริมาณรังสีเบคกราวด์ตัวอย่าง 2 เ.ล.ซม.	36.14	30.00	32.20
Ms+b	35,556.00	42,220.00	46,366.00
Ts	1,296.00	1,440.00	1,440.00
As+b	36.14	30.00	32.20
Mb	36,563.00	36,171.00	38,434.00
Tb	1,440.00	1,170.00	1,440.00
Ab	26.70	26.69	26.49
As	9.36	5.51	5.25
Mt+b	52,440.00	52,440.00	52,440.00
To	1,486.00	1,486.00	1,486.00
At+b	35.24	35.29	35.29
Ib	32,682.00	32,662.00	32,662.00
Tb	1,440.00	1,440.00	1,440.00
Ab	22.69	22.69	22.69
At	12.60	12.6	12.60
Ao	12.00	12.00	12.00
t	2,220.00	3,410.00	6,600.00
dt	320.00	430.00	420.00

ตาราง 21 (ต่อ)

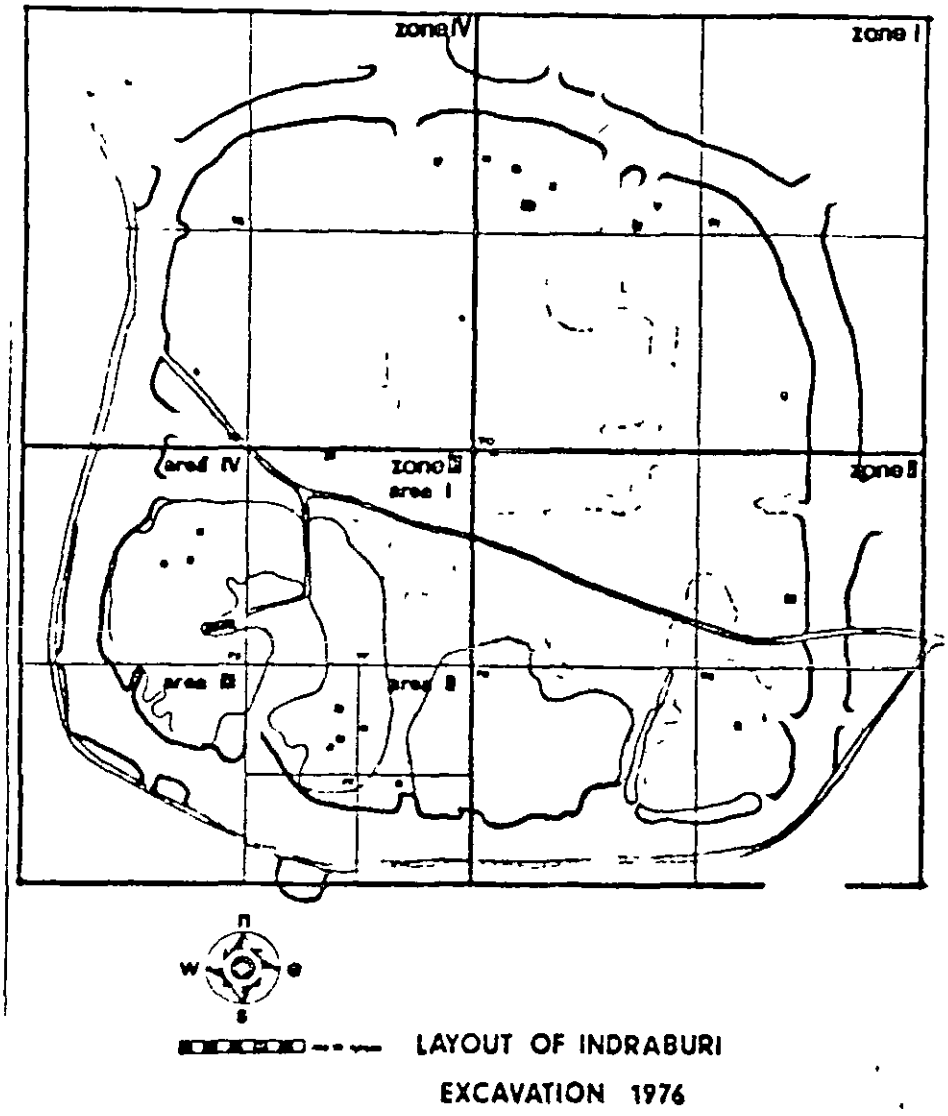
	โรงงานระดูกำ 11	ท่าน
เบนซีนที่เตรียม (ม.ม.)	1.00	1.00
เบนซีน E.Merch (ม.ม.)	1.00	0.70
ปริมาณรังสีที่วัดได้ (cpm)	29.12	30.51
ปริมาณรังสีเบนเซียนก้าวอย่าง (ม.ม.	31.74	30.51
Ms+b	42,754.00	12,603.00
Ts	1,347.00	116.00
As+b	31.74	30.51
Mb	38,139.00	27,359.00
Tb	1,440.00	1,056.00
Ab	26.4[illegible]	25.92
As	5.25	5.19
Mt+b	52,410.00	39,763.00
To	1,406.00	1,227.00
At+b	35.29	35.20
Mb	32,60[illegible].00	33,180.00
To	1,440.00	1,392.00
Ab	22.69	23.82
At	1[illegible].60	11.38
Ao	12.00	10.64
t	6,800.00	6,060.00
dt	420.00	500.00

ตาราง 21 (ต่อ)

	ก่อน	หลัง
เมนซีนที่เครียม (ค.ซม.)	2.00	2.00
เมนซีน E.Merch (ม.ซม.)	-	-
ปริมาณรังสีที่วัดได้ (cpm)	30.69	31.17
ปริมาณรังสีเมนซีนตัวอย่าง ม.ซม.	30.51	31.17
Ns+b	40,409.00	44,453.00
ts	1,308.00	1,426.00
As+b	30.89	31.17
Mb	35,424.00	35,424.00
Tb	1,421.00	1,421.00
Ab	24.92	24.92
As	5.97	6.25
Mt+b	39,673.00	39,673.00
To	1,127.00	1,127.00
At+b	35.20	35.20
Mb	33,180.00	33,180.00
b	1,392.00	1,992.00
Ab	23.82	23.82
At	11.38	11.38
Ao	10.84	10.84
t	4,900.00	4,520.00
dt	330.00	310.00

ประวัติของบ้านคูเมือง ต.ม่วงหวัน อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี โดยสังเขป

บ้านคูเมือง อยู่หมู่ที่ 6 ตำบลม่วงหวัน อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี ซึ่งอินทร์บุรีเป็นเมืองใหญ่เมืองหนึ่งในสมัยอยุธยา และที่บ้านคูเมืองนี้เป็นเมืองสมัยโบราณ สมัยทวารวดี เนื่องจากมีหลักฐานบางอย่างที่ค้นพบแล้วว่า มีอายุมาตั้งแต่พุทธศตวรรษที่ 12 (ประมาณ พ.ศ. 1100) และได้มีผู้อาศัยอยู่ติดต่อกันเรื่อยมาจนถึงสมัยอยุธยา และกระทั่งกระทบจนถึงปัจจุบันนี้ มีลักษณะเป็นเนินดินธรรมชาติขนาดใหญ่ มีการขุดคูเมืองล้อมรอบเนินดังภาพประกอบ 9 แสดงให้เห็นว่า บ้านคูเมืองตั้งอยู่กึ่งกลางระหว่างพื้นที่ราบของแม่น้ำน้อยและแม่น้ำเจ้าพระยา โดยมีลำน้ำขนาดใหญ่ไหลผ่านเชื่อมระหว่างลำน้ำทั้งสองสาย นอกจากนี้มีโบราณสถานหลายอย่าง แสดงว่าเป็นศาสนสถานของสมัยทวารวดี เช่น เจดีย์ เป็นต้น



ภาพประกอบ 9 แผนผังการขุดค้นเมืองโบราณที่บ้านคูเมือง ต.ห้วยชัน อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี

ประวัติโคกพนมดีโดยสังเขป

แหล่งโบราณคดีโคกพนมดี อยู่ที่ตำบลท่าข้าม อ.เมือง จ.ชลบุรี มีลักษณะเป็นเนินดินขนาดใหญ่ล้อมรอบเกาะที่ตั้งอยู่ตรงกลางซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลมและมีเนื้อที่โดยประมาณ 27 ไร่ ภายในบริเวณเนินดินมีต้นไม้ขนาดใหญ่และเล็กปกคลุมค่อนข้างหนาแน่น ภายนอกเนินเป็นที่สูงซึ่งจุดสูงสุดของเนินนี้สูงจากพื้นที่ราบประมาณ 10 เมตร จุดสูงสุดรองลงมาบริเวณเนินดินที่มีความแตกต่างกันประมาณ 4 เมตร ด้านใต้และด้านตะวันตกของเนินดิน ชาวบ้านได้ตัดถนนเข้าสู่ใจกลางเนินซึ่งเป็นสำนักวิปัสสนา ตำแหน่งที่ตั้งของโคกพนมดี แนวทางภูมิศาสตร์อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 30° 35' เหนือ และเส้นแวงที่ 101° 07' ตะวันออก อยู่ในเขตหมู่ที่ 3 ตำบลท่าข้าม อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี อยู่ห่างจากตัวจังหวัดชลบุรีซึ่งเดินทางไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ตามเส้นทางตะเคียนเทรา-บ้านบึง ประมาณ 12 กิโลเมตร ซึ่งทางเข้าประมาณ 2 กิโลเมตร ซึ่งทางเข้าอยู่ระหว่าง หลักกิโลเมตรที่ 16 - 17 เลี้ยวซ้ายเข้าสำนักวิปัสสนาโคกพนมดี ไปตามถนนลูกรังประมาณ 1 กิโลเมตร ห่างจากทะเลประมาณ 20 กิโลเมตร ซึ่งผู้ดำรงเกียรติ นกสกุล อาจารย์วิทยาลัยครูชลบุรีเป็นผู้ดำเนินการขุดค้น เนื่องจากหลักฐานของมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์ คือ เปลือกหอยทะเล ก้ามปูและเศษกระดูกสัตว์ และชนิดเผาสายเชือกทาบ บริเวณนี้และตามขันดิน เป็นจำนวนมาก

ภาพประกอบ 10 ภาพถ่ายทางอากาศแสดงที่ตั้งของโคกพนมดี ตำบลท่าข้าม อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี