

10년 간격 연륜의 위글매치를 이용한 영흥도선의 방사성탄소연대 측정

남태광¹ | 김택준 | 문환석
국립해양문화재연구소 수중발굴과

Radiocarbon Dating of a Wooden Board from Yeongheung-do Shipwreck Using Wiggle Matching of Decennial Tree-Ring Samples

Tae Gwang Nam¹ | Taek Joon Kim | Hwan Suk Moon

Underwater Excavation & Conservation Divison, National Research Institute of Maritime
Cultural Heritage, Taean, 32132, Korea

¹Corresponding Author: tour9317@hotmail.com, +82-41-675-2031

초록 이 연구의 목적은 인천 옹진군 영흥도에서 발굴된 영흥도선 목부재 방사성탄소연대 분석을 통해 고선박의 연대를 규명하는 것이다. 중앙저판에서 10년 간격으로 채취된 5개의 연륜 블록에 대한 방사성탄소연대를 위글매치한 결과, 최외각 연륜의 $\pm 2\sigma$ 연대(95.4% 신뢰구간)에서 A.D. 710~730년 또는 A.D. 750~774년으로 산출되어 이 고선박이 8세기 초반 또는 중반에 제작된 것을 알 수 있었다. 이 연대는 선박의 구조와 도기의 양식으로 추론된 고고학적 편년과 일치되는 결과이다.

중심어: 방사성탄소연대, 위글매치, AMS, 영흥도선

ABSTRACT The purpose of this study was to analyze radiocarbon dating, using wiggle match, of a wooden board from Yeongheung-do shipwreck excavated from Yeongheung-do in Incheon Ongjingu. The result of wiggle matching for 5 decennial tree-ring block samples of the hull bottom board produced $\pm 2\sigma$ radiocarbon date (95.4% confidence interval) as A.D. 710~730 or A.D. 750~774. It indicated that the Yeongheung-do shipwreck belonged to the early or middle of the 8th century. Radiocarbon dating results confirmed the date speculated by archaeologists according to ship structure and pottery style.

Key Words: Radiocarbon dating, Wiggle-match, AMS, Yeongheung-do shipwreck

1. 서 론

인류 역사의 시작과 발전을 함께 해온 목재는 석기와 함께 중요한 도구로 사용되어 왔다. 목재는 일상생활 용구로

부터 건축재에 이르기까지 매우 다양하게 사용되어 그 용도를 파악하는데 많은 노력이 필요하다. 목재로 만들어진 유물에 대한 연구는 역사적 사료가 부족한 시기를 연구함에 있어 더욱 중요하다. 목재로 제작된 유물은 당시 사람들

의 생활상과 자연환경에 대한 다양한 정보를 가지고 있으며, 연구 분석을 통해 얻을 수 있는 자료는 고고학적, 역사학적 해석을 통해 매우 중요한 사료를 획득할 수 있다.

발굴된 목재유물의 분석 중 가장 중요한 것은 연대 측정이라 할 수 있다. 목재를 통해 연대를 측정하는 방법에는 나이테 정보를 해석하여 절대연대를 밝혀내는 연륜연대법이 있으며, 다른 방법으로는 방사성탄소연대측정법이 있다. 방사성탄소연대측정법은 방사성탄소(^{14}C)의 반감기를 이용한 방법으로 1950년대 Libby에 의해 알려진 후 세계적으로 널리 이용되고 있다.

자연계에 일정하게 분포되어 있던 ^{14}C 는 그 출입이 폐쇄되면 대기로부터 ^{14}C 의 흡수가 중지되고 체내의 ^{14}C 량은 감소하게 된다. 이 ^{14}C 의 반감기는 5,730년으로 일정하다. 이러한 원리를 이용하여 유적의 유기물을 대상으로 방사성탄소농도를 측정함으로써 죽은 후 경과된 시간을 계산할 수 있게 된다.

측정된 방사성탄소연대는 대기 중 방사성탄소농도의 변동, 지구지자기의 변동, 해양의 영향, 식물 내에서의 분별작용(fractionation) 등으로 오차가 발생한다. 이러한 오차는 보정곡선(calibration curve)을 통해 실제 연대로 보정된다. 그러나 이 보정곡선에 의한 보정도 한계가 있어 태양 활동과 지구지자기 변동으로 생기는 위글(wiggle)이라 불리는 단주기의 변동은 극복하기 어렵다. 이러한 한계를 극복하기 위해 하나의 대상에서 나이테 시료를 일정한 간격

으로 여러 개를 연속적으로 측정함으로써 한 점(point)이 아닌 짧은 곡선을 만들어 보정곡선과 일치하는 정확한 절대연대를 찾아 방사성탄소연대의 오차(95.4% 신뢰구간)를 20~30년까지 줄여줄 수 있는 기법인 ‘위글 매치(wiggle match)’법이 최근 적용되고 있다(Ramsey *et al.*, 2001).

국내에서 위글 매치를 적용한 예로는 울산 반구동 목책 시설(Jeong, 2011), 종묘광장 회동제생동천(Nam, 2012), 풍납토성(Song *et al.*, 2012)등이 있으며, 해양에서 발굴, 인양된 고선박에 적용한 최초의 위글 매치 사례는 태안선의 선체부재가 있다.

2007~2008년 태안 대섬에서 인양된 태안선의 목간 판독과 연구를 통해 2점의 목간에서 ‘신해(辛亥)’라는 간지가 판독되었으나, 정확한 시기를 알 수 없었다. 그러나 2011년 위글 매치법을 적용하여 1126년~1150년(신뢰구간 95.4%)에 벌채된 나무로 제작되었다는 것을 알아냈다. 이것은 도자기가 12세기 중반에 생산된 것이라는 연구 결과와 일치하는 결과로, 목간 판독과 선체에 대한 자연 과학적 분석, 도자기 역사 연구 결과를 종합하면 태안선은 신해년(辛亥年, 즉 1131년에 탐진(현재의 강진)에서 만들어진 도자기를 싣고 개경으로 향하던 중 태안 대섬 해역에서 난파되었다는 역사적 사실을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 2013년 인천 영흥도선 발굴조사로 인양된 고선박의 부재로 사용된 목재의 연대를 위글매치(wiggle match)법을 이용하여 측정함으로써 선박의 구조와 도기의

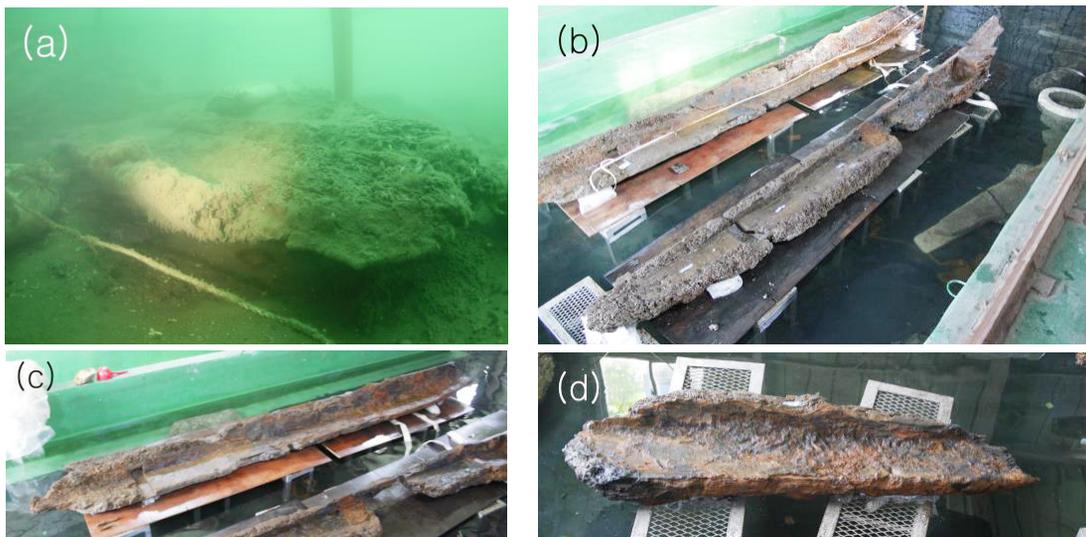


Figure 1. Yeongheung-do shipwreck (a) Underwater photograph, (b) Hull bottom board, (c) L-shaped hull outside plate I, (d) L-shaped hull outside plate II.

양식으로 추정된 편년과 비교 검토하고자 하였다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 연구대상

영흥도선은 인천광역시 옹진군 영흥면 섭업벌이라는 무인도의 서남쪽 해역에서 발견되었다. 2010년부터 2013년까지 3차에 걸쳐 발굴조사가 이루어졌으며, 그 결과 고선박 1척과 900여 점의 유물이 발굴되었다.

본 연구의 대상인 영흥도선은 3개의 선체편(중앙저판, 외판 1, 외판 2)으로 이루어져 있으며, 해양 생물 등으로부터 피해를 입었고, 적재된 철제술 등의 영향으로 선체의 대

부분이 오염되어 있었다(Figure 1). 수종을 분석한 결과, 선체편은 소나무과 소나무속 소나무류로 분석되었다(National Research Institute of Maritime Cultural Heritage, 2014).

2.2. 시료채취 및 방사성탄소연대 측정

연구대상인 선체편의 각 부재들은 부후가 상당히 진행되어 성장추를 이용한 시료 채취는 실패하였으며, 부재에서 시료를 미량 채취하여 분석에 사용하였다. 부재의 가장 오염되지 않은 부분에서 최대한 최외각 연륜을 채취하였다. 외판 1과 외판 2에서는 최외각 연륜이 2~3개가 포함되도록 채취하였고, 중앙저판에서 채취된 시료는 최외각 쪽의 연륜 49개가 포함되어 있었다.

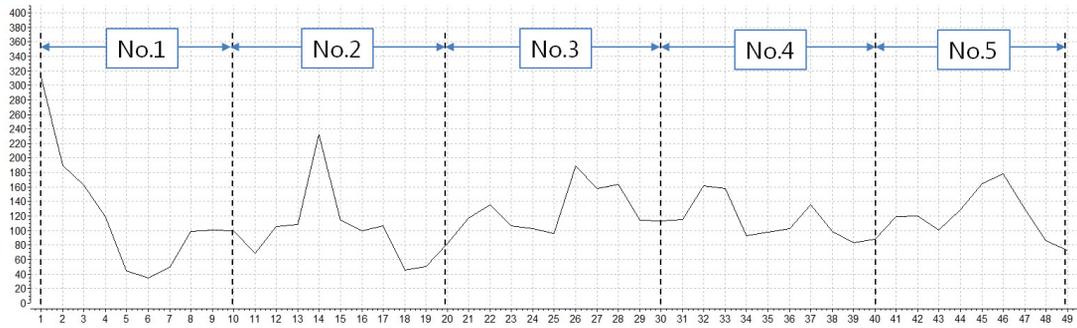


Figure 2. Tree-ring width graph of hull bottom board for wiggle matching (X-axis: tree-ring number, Y-axis: tree-ring width × 100mm).

Table 1. The list of samples I (Paleo Labo Co., Ltd., Japan).

Sample	Number	Weight(mg)	Tree-ring	Remark
Hull bottom board	No.1	600	10	pith
	No.2	1,000	10	
	No.3	1,400	10	↓ bark
	No.4	1,900	10	
	No.5	900	9	
Outside plate I	2014YH001	1,300	2	
Outside plate II	2014YH002	1,000	3	

Table 2. The list of samples II (BETA Analytic Inc., USA).

Sample	Number	Weight(mg)	Tree-ring	Remark
Hull bottom board	2014YH001	1,300	3	
Outside plate I	2014YH002	1,700	2	
Outside plate II	2014YH003	1,000	3	

향후 진행될 연륜연대학 분석을 위해 중앙저판에서 채취한 시료는 연륜폭 측정기(Lintab 5)와 연륜폭 측정프로그램(Tsap-Win)을 사용하여 0.01mm 정확도로 측정하였다(Figure 2). 연륜폭이 측정된 시료는 위글매치 분석을 위해 10년 단위로 연속되는 블록(block)으로 제작하였으며, 각 시료는 600~1,900mg으로 제작하였다(Table 1~2). 방사성탄소연대 측정은 신뢰성과 교차검정을 위해 Paleo Labo사(일본)와 BETA 연구소(미국)에 동일한 시료를 측정 의뢰하였다. 시료의 전처리는 산-알카리-산(AAA)법으로 진행되었다.

위글매치 분석은 가장 최근의 보정곡선(IntCal 13)을 적용하여 Oxcal 프로그램의 Dendro Wiggle Match 기능으로 분석을 실시하였다. 위글매치는 각 시료들의 방사성탄소연대에 대한 Gaussian 확률분포를 보정 프로그램에서

Bayesian 통계 분석법으로 보정연대 확률분포를 계산하기 위하여 이 시료들의 실제 연대순서와 차이(gap: 10년 간격)에 대한 정보를 활용하여 위글매치 분석을 하면 매우 정확한 보정연대 확률분포를 산출해 낼 수 있다. 유의성 검정은 확률분포에서 전체 일치도(A : overall agreement)와 수용한계(An : acceptability threshold)를 비교하는 χ^2 (카이제곱)검정으로 실시하였다.

3. 결 과

3.1. 방사성탄소연대 측정 결과

영흥도선의 선체로 사용된 3개의 목부재에서 채취한 시료의 방사성탄소연대 측정 결과를 다음 Table 3과 4에 나

Table 3. The results of radiocarbon dating I (Paleo Labo Co., Ltd., Japan).

Sample	Number	¹⁴ C dates (before calibration)		Calibrated dates (A.D., 95.4% C.I.)	Remark
		BP	Standard deviation		
Hull bottom board	No.1	1255	18	678~775	pith ↓ bark
	No.2	1285	18	670~730 736~770	
	No.3	1305	18	663~719 742~767	
	No.4	1305	18	663~718 742~767	
	No.5	1300	18	665~720 741~768	
Outside plate I	2014YH001	1245	14	685~778 794~800	
Outside plate II	2014YH002	1239	15	688~750 760~779 791~866	

* BP : before present, the year from A.D. 1950

** C.I.: confidence interval

Table 4. The results of radiocarbon dating II (BETA Analytic Inc., USA).

Sample	Number	¹⁴ C dates (before calibration)		Calibrated dates (A.D., 95.4% C.I.)	Remark
		BP	Standard deviation		
Hull bottom board	2014YH001	1320	30	660~770	
Outside plate I	2014YH003	1330	30	665~775	
Outside plate II	2014YH002	1300	30	660~770	

타내었다. 방사성탄소연대 측정 결과, 3개의 목부재가 95.4% 신뢰구간에서 ¹⁴C 보정연대가 일본 Paleo Labo사는 A.D. 663~866년의 연대 구간에 겹치게 산출되었고, 미국 BETA 연구소는 A.D. 660~775년의 연대 구간에서 겹치게 산출되었다. 두 기관의 측정 결과가 유사한 연대 구간으로 산출되어 측정된 결과의 신뢰성이 확인되었다. 위의 결과가 영흥도선의 선체로 사용된 목재의 최외각 연륜의 연대라고 할 수 있다.

3.2. 위글매치 분석 결과

본 연구의 대상인 영흥도선의 선체편 중앙저판에서 연

속적으로 채취한 5개의 연륜 블록(10년 간격)의 개별적인 방사성탄소연대 측정 결과를 위글매치 분석 전과 후로 나누어 Table 5에 나타내었다. 위글매치 분석 결과는 전체 일치도 A=44.8%이며, 수용한계 (5% 유의수준) An=31.6%이므로 χ^2 검정을 만족하였다(Figure 4).

위글매치 분석 전 중앙저판의 최외각 연륜 블록(No. 5)의 개별 시료에 대한 ¹⁴C 보정연대는 95.4% 신뢰구간에서 A.D. 665~720년과 A.D. 741~768년의 두 연대 구간이 산출되었다(Figure 3). 두 연대 구간의 폭이 100년이었으나, 위글매치 분석 후에 연대 구간의 폭이 상당히 좁아진 것을 Figure 4(흑색으로 표시된 확률분포)에서 확인할 수 있다. 위글매치 분석 후 95.4% 신뢰구간에서 A.D. 710~730년과

Table 5. The results of radiocarbon dating before and after wiggle matching.

Sample	Number	Measured tree-ring No.	¹⁴ C dates (before calibration)		Calibrated dates before wiggle match (A.D., 95.4% C.I.)	Calibrated dates after wiggle match (A.D., 95.4% C.I.)
			BP	Standard deviation		
Hull bottom board	No.1	1-10th	1255	18	678~775	670~690 710~734
	No.2	11-20th	1285	18	670~730 736~770	680~700 720~744
	No.3	21-30th	1305	18	663~719 742~767	690~710 730~754
	No.4	31-40th	1305	18	663~718 742~767	700~720 740~764
	No.5	41-49th	1300	18	665~720 741~768	710~730 750~774

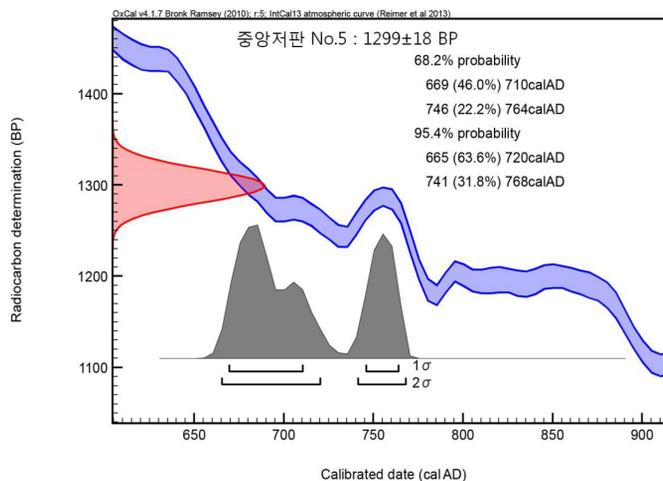


Figure 3. Probability profiles of radiocarbon date (Y-axis) and calibrated date (X-axis) for the outermost tree-ring block of hull bottom board.

A.D. 750~774년의 두 연대 구간으로 분석되어 연대 구간의 폭을 60년으로 줄일 수 있었다. 그러나 Figure 5에서 보이는 바와 같이 위글(wiggle)이라 불리는 단주기의 변동 폭이 큰 구간에 연대 구간이 포함되어 보다 많은 오차 범위를 줄일 수 없었다.

위글매치 분석 대상인 중앙저판은 수피의 존재가 확인되지 않아서 분석된 연대구간이 중앙저판으로 사용된 목

재의 별채연대로 확정할 수 없지만, 고선박과 같은 구조물의 제작에 사용된 목재는 목재를 최대한 이용하였을 것으로 추정되므로 분석된 연대구간의 근처를 별채연대로 보는 것도 무방할 것이다. 따라서 중앙저판에 사용된 목재는 95.4% 신뢰구간에서 A.D. 710~730년과 A.D. 750~774년의 두 연대구간 근처의 연대에 별채되어 사용되었을 것이다.

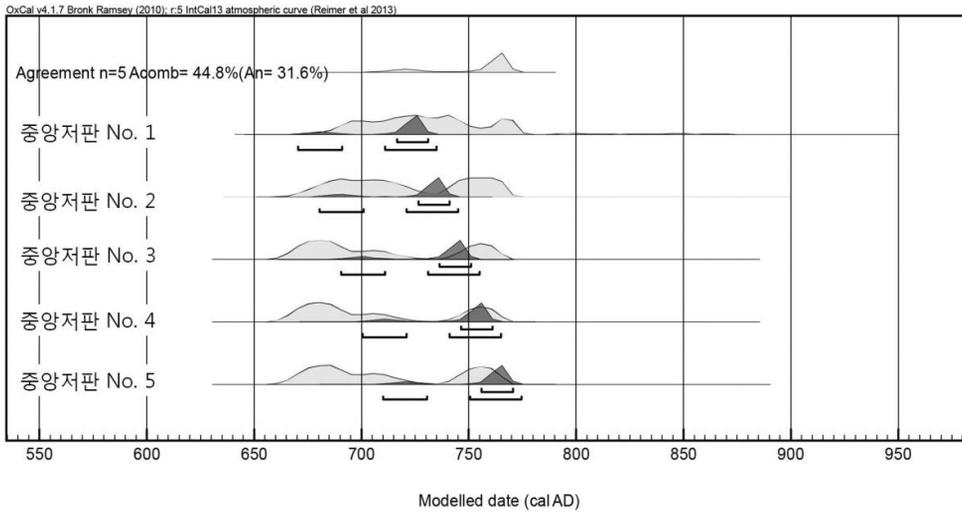


Figure 4. Profiles of probability distributions of radiocarbon dates for 5 individual tree-ring blocks after wiggle matching (black colored).

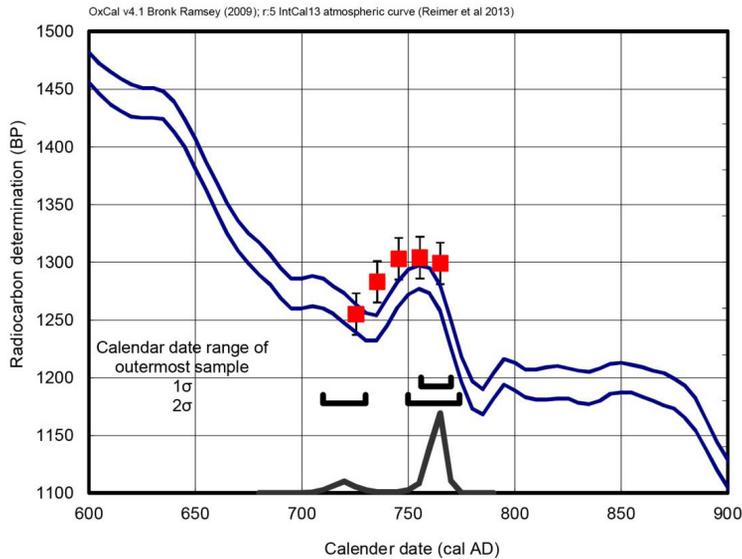


Figure 5. Schematic diagram showing AMS wiggle matching for 5 decennial tree-ring blocks of Yeongheung-do shipwreck.

4. 고찰 및 결론

인천 영흥도 인근 해역에서 발굴 인양된 선체편의 방사성탄소연대 측정을 실시하였으며, 결과의 신뢰성과 교차검정을 위해 복수기관에 동일한 시료를 측정 의뢰하였다. 3개의 선체편으로 사용된 목재에서 채취한 시료를 측정된 결과, 95.4% 신뢰구간에서 각각 A.D. 663~866년, A.D. 660~775년으로 산출되어 측정 결과의 신뢰성을 확보할 수 있었다.

선체편 중 중앙저판에서 10년 간격으로 채취된 연속적인 5개 연륜 블록의 방사성탄소연대 측정 결과를 위글매치법을 이용하여 분석한 결과, 95.4% 신뢰구간에서 A.D. 710~730년과 A.D. 750~774년의 두 연대 구간으로 분석되었다. 위글매치 전보다 오차를 100년에서 60년으로 약 40년의 오차를 줄일 수 있었다. 다른 연구에서 20년 내지 30년으로 줄인 것에 비하면 본 연구에서 줄인 오차 범위는 큰 편이다. 이것은 단주기의 변동 폭이 큰 보정연대 구간에 연대 구간이 포함되어 보다 많은 오차 범위를 줄일 수 없었다.

영흥도선의 남아있는 규모는 길이 6m, 폭 1.4m이며, 1개의 저판재에 2단의 만곡종통재(‘ㄴ’자형 외판재)가 결구되어 있었다. 저판의 형태와 결구방식 등이 기존 고려선박과 다르며, 오히려 통일신라시대의 경주 안압지선과 유사하다. 내부에서 확인된 유물은 12점의 철제술과 6점의 도기 등이 전부인데, 철제술들은 모두 다리가 없이 깊은 형태로 수량이나 겹쳐져서 선적된 양상으로 보아 화물로 선적되었던 것이다. 도기는 호 2점, 병 2점, 장군 2점인데 이 중 내부에 황칠로 추정되는 물질이 담긴 소형병은 외면에 파상집선문이 정연하게 시문되었고, 아래가 볼록한 형태로 8~9세기경에 제작된 것으로 보인다(National Research Institute of Maritime Cultural Heritage. 2014). 따라서 이번 연구의 결과가 선박의 구조와 도기의 양식으로 추정된 편년을 과학적으로 지지해 주었다.

본 연구의 결과와 선체의 구조, 도기의 편년 등을 종합

적으로 고려할 때 이 선박은 통일신라시대의 화물선으로 추정할 수 있다. 영흥도선 이전에 바닷속에서 발굴·인양된 우리나라 고선박은 9척으로 모두 고려시대 선박이었다. 그러나 이 선박의 발굴로 통일신라시대의 고선박의 구조, 생활사, 해양사 등의 연구에 중요한 자료로 이용될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Jeong, A.R., 2011, "Species Identification and Dating for Wooden Walls Excavated from Bangu-dong site, Ulsan, Korea". Master thesis, Chungbuk National University.
- Nam, T.G., 2012, "Species Identification and Dating for the Woods Excavated from Jongmyo Square, Seoul, Korea". Master thesis, Chungbuk National University. (in Korean with English abstract)
- Nam, T.G., Park, J.H., Hong, W. and Park, W.K., 2012, "Radiocarbon dating of a wooden board from Jeongsusa Temple using wiggle matching of quinquennial tree-ring samples". *Journal of Conservation Science*, 28, p1-5.
- National Research Institute of Maritime Cultural Heritage, 2014, "Incheon Ongjingun Yeongheungdo Shipwreck Underwater Excavation". (in Korean with English abstract)
- Ramsey, B.C., van der Plicht, J., Weninger, B., 2001, "Wiggle matching radiocarbon dates". *Radiocarbon*, 43(2A), p381-389.
- Song, J.A., Son, B.H. and Park, W.K., 2012, "Wiggle Matched Radiocarbon Dates of Charcoal in a Fired Dwelling Excavated at the Pungnaptoseong Earthen Wall, Baekje" *Journal of Conservation Science*, 28(4), p411-416. (in Korean with English abstract)