조선시대 평택 궁리유적 회곽묘의 물성평가 및 강도해석

이찬희¹ | 강산하

공주대학교 문화재보존과학과

Evaluation of Physical Properties and Strength Interpretation for Lime-Soil Mixture on Barrier Tomb of Pyeongtaek Gungri Site in Joseon Dynasty

Chan Hee Lee¹ | San Ha Kang

Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Gongju, 32588, Korea

¹Corresponding Author: chanlee@kongju.ac.kr, +82-41-850-8543

초 록 회곽묘는 조선시대의 대표적인 묘제로서 당시 사회와 장례문화 이해에 중요한 자료이다. 궁리유적에서 발굴한 회곽묘를 제작방식에 따라 분류하여 초음파속도와 반발경도 측정을 통해 물성을 평가하였다. 층벽식으로 제작한 회곽묘의 강도는 측정방법에 따라 차이가 있다. 초음파속도와 반발경도를 통해 산출한 층벽식 회곽묘의 압축강도는 각각 4.0~355(평균 43.6) kgf/cm² 및 18.8~538(평균 245.2) kgf/cm²의 범위를 보였다. 이 회곽묘는 발굴과 이장과정에서 벽체에 충격이 발생한 상태로, 벽체의 고유물성에 비해 낮은 초음파속도가 산출된 것으로 보인다. 반면 통벽식으로 제작한 회곽묘의 압축강도는 초음파속도 및 반발경도 측정방법에 따라 각각 5.7~793(평균 281.6) kgf/cm²와 4.5~551(평균 172.4) kgf/cm²로 나타났다. 이처럼 압축강도 값의 차이는 있지만 경향성이 유사한 것으로 보아, 초음파속도와 반발경도 측정을 통한 물성평가는 통벽식 회곽묘에서 더욱 효과적인 것으로 판단된다. 또한 측정면적이 작은 반발경도법이 초음파법보다 더욱 일정한 강도를 보였다.

중심어: 회곽묘, 초음파속도, 반발경도, 압축강도

ABSTRACT The lime-soil mixture on barrier (LSMB) tomb is a representative type of tomb from the Joseon Dynasty. It is an important reference for understanding the society and funeral culture of that time. The LSMB excavated at the Gungri site were classified with manufacturing type. The ultrasonic velocity and rebound hardness method were used to estimate the physical properties of the LSMB. The strength values on the tomb of layered wall were different depend on measuring method. The compressive strengths of the tomb with layered wall, which is calculated by ultrasonic velocity and rebound hardness ranged from 4.0 to 355 (mean 43.6) kgf/cm² and 18.8 to 538 (mean 245.2) kgf/cm² ranges. The damage to the tomb with integrated wall during excavation and removal of the corpse could be a reason for the difference in results obtained using ultrasonic velocity method. Compressive strengths of tombs with integrated wall, which is calculated by ultrasonic velocity and rebound hardness ranged from 5.7 to 793 (mean 281.6) kgf/cm² and 4.5 to 550.5 (mean 172.4) kgf/cm² values. Physical properties on the tombs of integrated wall had different in compressive strength value but showed similar tendency. Thus, evaluation of the physical properties has shown that measuring ultrasonic velocity

and rebound hardness methods are more effective in the LSMB with integrated walls. Further, the strength values obtained through the rebound hardness method are more constant than those obtained through the ultrasonic method due to the small detection area required by the former.

Key Words: Lime-soil mixture on barrier (LSMB) tomb, Ultrasonic velocity, Rebound hardness, Compressive strength

1. 서 언

조선시대의 묘(墓)는 사대부 및 일반 서민의 무덤을 지칭하는 용어이다. 회곽묘는 조선 초기 석실묘와 석곽묘의 각종 금지정책에 반해 그 사용이 권장되었으며, 조성방법이 조선왕조실록과 국조오례의 등의 문헌에 전해진다. 따라서 조선은 국가차원에서 회곽묘의 제작방법을 제시하였을 뿐만 아니라 사용을 적극적으로 권장하였다. 이처럼 회곽묘는 조선시대의 대표적인 묘제로 성리학적 통치이념이 반영된 배경을 가지고 있어 당시의 사회와 문화를 이해할 수 있는 고고학적 자료이다.

회곽묘에 대한 연구는 문헌자료 검토와 시대별 형식 및 조성방법 등에 대한 인문학적인 연구가 주를 이루고 있으나, 근래에 들어 자연과학적 연구가 시도되고 있다(Lee *et al.*, 2016; Kang and Lee, 2018). 그러나 회곽 자체에 대한 강도분석은 Park *et al.*(1999), Lee *et al.*(2017) 등 일부 연구자들의 보고가 있을 뿐이다. 최근 Kang and Lee(2018)는 평택 궁리유적에서 출토된 회곽묘 가운데 대표적인 층

벽식 및 통벽식 회곽을 대상으로 재료과학적 분석을 통해 제작과정 및 재료의 산지를 해석하였으며, 조선시대 회곽묘의 제작에 대한 과학적 기초자료를 제시하였다.

이 연구에서는 Kang and Lee(2018)가 보고한 평택 궁리유적 회곽묘의 재료학적 특성과 제작방식을 기초로 비파괴 방법을 이용한 물성평가와 강도분석을 수행하여 회곽에 대한 과학적 및 공학적 자료를 고찰하였다. 이는 조선시대 회곽묘의 제작방식에 따른 강도와 제작기법 이해에 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 현황 및 연구대상

회곽묘란 묘광에 회곽을 조영한 다음 관을 안치한 형태의 무덤이다. 이때 회곽은 삼물을 사용하여 조성하며 삼물은 석회, 세사, 황토로 구성된다. 조선시대 회곽묘의 조성방법과 재료의 혼합에 대한 특징들은 Lee *et al.*(2016;

Figure 1. Field occurrences of representative lime-soil mixture on barrier tomb in the Gungri site. (A) Layered wall of No. 25 tomb in 2-2 area, (B) Integrated wall of No. 222 tomb in 2-1 area, (C) Integrated wall of No. 223 tomb in 2-1 area.

2017) 및 Kang and Lee(2018)에 의해 비교적 상세히 보고된 바 있다. 이 연구에서는 평택 궁리유적에서 발굴된 조선시대 회곽묘를 제작방식에 따라 분류하고 물성을 평가하여 제작기술을 해석하였다.

평택 궁리유적은 아파트 신축 및 복리시설 등을 조성하기 위해 개발하던 과정에서 확인되었으며, 조선시대 분묘와 주거지, 수혈유구, 구상유구, 소성유구 등이 발굴되었다(Hanyang Institute of Cultural Heritage, 2017). 이 유적에서 발굴된 조선시대 회곽묘 14기 가운데 제작방식에 따른 형태적 특징이 뚜렷하게 확인되면서, 지하수의 상승과 같은 환경적 요인으로 침수되지 않은 유구 가운데 현장에서 강도분석이 가능한 회곽묘 3기를 연구대상으로 하였다. 회곽묘 3기는 층벽식으로 제작한 2-2 지역 25호 회곽묘와 통벽식으로 제작한 2-1 지역 222호 및 223호 회곽묘이다(Figure 1).

2.2. 연구방법

평택 궁리유적에서 확인된 회곽묘의 내구성과 강도를 파악하기 위해 비파괴 물성분석 기법을 활용하였다. 먼저 초음파속도 측정을 통하여 상대적인 물성을 비교하였다. 이때 사용한 기기는 Proceq사의 Pundit Lab이며, 표면요철에 의한 영향을 최소화하기 위하여 지수형 탐촉자를 이용하였다. 접촉매질은 엘라스토퍼 커버를 사용하였고, Jo(2011)에 의해 제시된 시멘트 모르타르의 보정계수인 1.65를 적

용하였다.

또한 슈미트해머를 이용하여 반발경도를 측정하였으며, 이때 KS F 2730 규정을 참고하였다. 측정에 사용한 기기는 0.735 Nm의 충격에너지를 가하는 Proceq사의 Rock Schmidt L 타입이다. 반발경도는 수평타격을 원칙으로 하고 있으나, 회곽묘 상부는 수평타격이 불가능하여 상향 수직방향(+90°)으로 타격 후 일본재료화학회에서 제시한 보정값을 적용하였다(Lim, 2008).

3. 결과 및 해석

3.1. 초음파속도

궁리 회곽묘의 물성평가를 위한 초음파속도 측정은 25호 회곽묘에서 총 108지점, 222호 회곽묘에서 총 120지점, 223호 회곽묘에서 총 90지점을 측정하였다(Table 1). 각 회곽묘의 내벽에서 방위별로 측정하였으며, 25호 회곽묘는 발굴과정에서 벽체 일부가 토층과 분리되어 있어 측정에서 제외하였다. 또한 223호 회곽묘는 이장과정에서 동벽이 소실되었기 때문에 측정이 불가하였다.

먼저 층벽식으로 조성한 25호 회곽묘의 초음파속도는 1,708~4,536 m/s의 분포를 보였으며 평균은 2,769 m/s이다. 방위별로 살펴보면 동, 서, 남벽은 유사한 초음파속도를 보였으나, 북벽의 물성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 특히 남벽에 비해 동벽과 서벽의 물성이 낮게 나타난

Table 1. Data of ultrasonic velocity for LSMB in the Gungri site

Tomb Type	Direction	Measuring Point	Ultrasonic Velocity (m/s)		
			Mean	Min	Max
Layered Wall (No. 25)	East	30	2,525	2,016	3,208
	West	30	2,386	1,708	3,171
	South	24	2,829	2,220	3,892
	North	24	3,491	2,395	4,536
	Total	108	2,769	1,708	4,536
Integrated Wall (No. 222)	East	40	4,267	3,093	6,262
	West	40	4,160	2,828	6,574
	South	20	4,706	3,448	6,383
	North	20	3,998	2,657	5,263
	Total	120	4,260	2,657	6,574
Integrated Wall (No. 223)	East	-	-	-	-
	West	50	3,454	1,790	5,903
	South	20	4,519	3,016	6,358
	North	20	4,908	3,671	6,483
	Total	90	4,014	1,790	6,483

것은 발굴과정에서 동벽과 서벽의 일부가 영향을 받았기 때문인 것으로 판단된다(Figure 2A).

통벽식으로 제작한 222호 및 223호 회곽묘는 각각 2,657~6,574 m/s와 1,790~6,483 m/s의 분포를 보이며 평균은 4,260 m/s와 4,014 m/s로 측정되었다. 먼저 222호 회곽묘의 초음파속도를 살펴보면, 각 회벽의 상부와 하부

에서 저속대가 나타나며, 이는 북벽과 동벽에서 경향이 특히 뚜렷하다(Figure 2B). 223호 회곽묘의 북벽과 남벽에서는 평균 4,000 m/s 이상의 높은 초음파 영역대가 확인되고 있으나, 서벽에서 상대적으로 3,454 m/s의 낮은 평균 초음파속도를 보였다(Figure 2C).

전반적으로 대부분의 회벽은 벽체 상부와 하부에서 저

Figure 2. Measuring points and 2D modelling data of ultrasonic velocity for LSMB in the Gungri site. (A) No. 25 tomb, (B) No. 222 tomb, (C) No. 223 tomb.

Figure 3. Measuring points and 2D modelling data of rebound hardness for LSMB in the Gungri site. (A) No. 25 tomb, (B) No. 222 tomb, (C) No. 223 tomb.

속대가 나타나는 경향을 보였으나, 223호 회곽묘의 남벽과 북벽에서는 오히려 빠른 초음파속도 분포를 보인다. 이는 회곽을 조성하는 과정에서 발생한 불균질 특성과 내부 기질상태 등의 영향으로 판단된다. Jeon(2000)의 연구에 따르면 신선한 벽돌의 초음파속도를 평균 3,915 m/s로 정의하고 있다. 또한 Whitehurst(1966)는 신선한 콘크리트의 초음파속도를 4,500 m/s로 정의하였으며, Iliev(1966)는 신선한 몬조나이트의 초음파속도를 5,000 m/s로 가정하였다.

이를 평택 공리유적에서 발굴된 세 회곽묘의 초음파속도와 비교해 보면 통벽식 회곽은 평균 4,000 m/s 이상의 초음파속도를 보여 신선한 벽돌과 암석이 갖는 초음파속도와 유사하게 나타났다. 반면 층벽식으로 제작한 회곽묘는 2,386~3,491 m/s의 평균 초음파속도를 보여 상대적으로 낮은 물성으로 확인되었다.

3.2. 반발경도

초음파속도와 함께 반발경도를 측정하여 회곽묘의 물성을 검토하였다. 측정은 25호 층벽식 회곽묘에서 280지점, 통벽식 222호 회곽묘에서 247지점, 223호 회곽묘에서 249지점을 측정하였다(Figure 3). 반발경도 역시 초음파속도 측정과 동일하게 방위별로 내벽을 측정하였으며, 회곽

묘의 상부 단면을 함께 측정하여 비교하였다.

먼저 25호 회곽묘의 평균 반발경도는 33.0으로 나타나며 14.5~55.5의 범위를 보인다. 222호 회곽묘는 평균 27.6에 14.5~56.5의 반발경도 분포를 보이며, 223호 회곽묘는 평균 27.2에 14.5~49.5의 낮은 분포범위를 나타냈다(Table 2). 반발경도는 모든 회곽묘의 평면(상부 단면) 측정지점에서 가장 낮은 값을 보였다. 이는 최상부의 마감층과 벽체를 구성하는 층의 재료학적 혼합과 관련이 있는 것으로 해석할 수 있다.

반발경도 측정결과, 통벽식으로 제작한 회곽묘에 비해 층벽식으로 제작한 회곽묘의 물성이 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, 초음파속도와 반발경도 측정결과는 다소 상이한 결과를 보였다. 이러한 물성평가 결과는 회곽묘의 산출상태와 제작방식, 회곽자체의 방향성, 측정 당시의 환경 등을 복합적으로 고려한 해석이 이루어져야 한다.

3.3. 압축강도

압축강도는 물성의 강도를 확인할 수 있는 파괴분석법으로 대부분 공식시험체를 제작하여 직접 측정한다. 그러나 공리유적에서 발굴된 회곽묘 3기는 회벽의 두께가 상대적으로 얇고, 시료의 수습과정에서 부스러짐이 발생하여

Table 2. Data of rebound hardness for LSMB in the Gungri site

Tomb Type	Direction	Measuring Point	Rebound Hardness		
			Mean	Min	Max
Layered Wall (No. 25)	East	60	37.2	23.0	55.5
	West	60	35.3	20.5	51.5
	South	60	36.5	22.5	49.5
	North	60	27.8	14.5	44.5
	Plane	40	25.9	15.6	37.1
	Total	280	33.0	14.5	55.5
Integrated Wall (No. 222)	East	58	25.9	14.5	51.0
	West	39	28.2	17.0	56.5
	South	50	27.7	14.5	46.0
	North	44	27.6	14.5	49.5
	Plane	56	20.5	14.5	33.3
	Total	247	27.6	14.5	56.5
Integrated Wall (No. 223)	East	37	-	-	-
	West	75	28.5	14.5	49.5
	South	50	27.9	14.5	43.0
	North	50	28.5	15.5	44.5
	Plane	37	21.8	14.5	36.6
	Total	249	27.2	14.5	49.5

Table 3. Result of compressive strength (kgf/cm^2) for LSMB in the Gungri site

Tomb Type	Direction	Compressive Strength by Ultrasonic Velocity			Compressive Strength by Rebound Hardness		
		Mean	Min	Max	Mean	Min	Max
Layered Wall (No. 25)	East	12.1	7.4	69.8	299.4	115.0	537.5
	West	6.7	4.0	61.8	275.1	82.5	485.5
	South	28.5	4.0	216.8	290.7	108.5	459.5
	North	141.5	4.0	355.3	190.2	24.0	394.5
	Plane	-	-	-	152.1	18.8	298.3
	Total	43.0	4.0	355.3	248.3	18.8	537.5
Integrated Wall (No. 222)	East	297.4	44.9	726.3	153.1	4.5	479.0
	West	275.2	18.0	793.3	182.9	37.0	550.0
	South	391.9	121.4	752.3	176.6	4.5	414.0
	North	244.3	44.9	511.6	175.0	4.5	459.5
	Plane	-	-	-	90.3	4.5	248.9
	Total	296.9	18.0	793.3	175.0	4.5	550.5
Integrated Wall (No. 223)	East	-	-	-	-	-	-
	West	155.4	5.7	649.2	186.5	4.5	459.5
	South	351.5	28.5	747.1	178.4	4.5	375.0
	North	435.2	169.2	773.9	186.8	17.5	394.5
	Plane	-	-	-	99.4	4.5	291.8
	Total	261.2	5.7	773.9	169.5	4.5	459.5

공시체 제작이 불가하였다. 이때 비파괴 검사법인 초음파 속도와 반발경도 측정을 통해 산출된 값은 모두 압축강도로 환산할 수 있다.

초음파속도와 반발경도를 통한 강도추정은 건축구조와 암석역학 등의 분야에서 다양한 연구자에 의해 추정식이 제안되었다. 제안된 추정식 가운데 초음파속도로 강도를 해석할 때 국내에서 가장 많은 사용빈도를 보이는 것은 일본건축학회에서 제안된 식이며, 반발경도를 통한 강도추정에는 일본 재료학회식이 가장 많은 비율을 차지하고 있다(Lim, 2008). 따라서 이 연구에서는 각각의 추정식을 적용하여 초음파속도와 반발경도를 통한 압축강도를 산출하였다.

초음파속도와 반발경도로 압축강도를 산출한 결과, 층벽식으로 제작한 25호 회곽묘는 각각 $4.0 \sim 355.3 \text{ kgf/cm}^2$ 와 $18.8 \sim 537.5 \text{ kgf/cm}^2$ 의 범위를 보였다. 또한 222호 회곽묘는 $18.0 \sim 793.3 \text{ kgf/cm}^2$ 와 $4.5 \sim 550.5 \text{ kgf/cm}^2$ 로, 223호 회곽묘는 $5.7 \sim 773.9 \text{ kgf/cm}^2$ 와 $4.5 \sim 459.5 \text{ kgf/cm}^2$ 로 나

타났다. 또한 각 측정값을 적용한 결과는 약 $200 \sim 300 \text{ kgf/cm}^2$ 의 차이를 나타냈다(Table 3). 따라서 압축강도 추정에 사용한 측정값의 종류에 따라 편차가 큰 것을 볼 수 있다.

4. 고 찰

4.1. 물성평가

초음파속도와 반발경도를 통해 무기재료의 강도를 추정하는 방법은 암석역학과 건축구조 분야에서 널리 활용되어 왔다. 또한 단일 값이 아닌 둘 이상의 비파괴 시험결과를 조합하여 강도를 추정하는 복합법에 대해서도 다양한 연구가 진행된 바 있다(Lim, 2008). 이 연구에서는 회곽의 산출상태와 측정조건 등의 이유로 복합법은 적용하지 않고 초음파속도와 반발경도 등 각각의 단일값을 통해서 압축강도를 산출하였다. 이때 압축강도의 단위를 최근 과학 공학 분야에서 사용되는 국제단위인 MPa로 변환하

Figure 4. Comparison diagrams of compressive strength by ultrasonic velocity and rebound hardness for LSMB in the Gungri site.

였으며, 이를 Figure 4에 도시하였다.

이 결과, 통벽식으로 제작한 회곽묘 가운데 222호 회곽묘에서 압축강도의 차이가 가장 적게 나타났으며, 223호 회곽묘 역시 상대적으로 유사한 경향을 보였다. 반면 초음파속도와 반발경도 측정결과가 상이하게 나타났던 층벽식 회곽묘는 압축강도의 편차가 크게 나타났다(Figure 4). 이처럼 각 회곽묘의 물성은 제작방식에 따라 차이를 보이며, 특히 층벽식으로 제작한 회곽묘는 물성의 측정방법에 따라 결과가 확연히 다르게 나타난다.

또한 반발경도 값으로 환산한 압축강도가 초음파속도로 환산한 값에 비해 매우 일정한 경향을 보였다(Figure 4). 이는 불균질한 매질과 이차적 충격의 영향을 받은 회곽과 같은 조건에서는 일정한 측정거리를 유지해야 하는 초음파법에 비해 아주 작은 타격면적만 필요한 반발경도법이 비교적 양호한 방법임을 지지하는 결과로도 해석할 수 있다.

압축강도 추정값을 선행연구 결과와 비교해 보았다(Figure 5). Park *et al.*(1999)은 안동에서 확인된 회곽의 강도를 추정하였다. 반발경도를 통해 현장에서 1차적으로 강도를 측정하였으며 초음파속도측정과 압축강도 시험을 통해 강도를 산출하였다. Do *et al.*(2003)은 미라가 발견되었던 4기의 회곽을 대상으로 초음파속도 측정 및 압축강도 시험을 통해 물리적 강도를 측정하였으며, Lee *et al.*(2017)은 구리 갈매유적에서 확인된 회곽묘의 강도분석을 위해 초음파속도 및 반발경도 측정을 비롯하여 압축강도 시험을 실시하였다.

Figure 5에 제시한 선행연구에서는 주로 회곽을 원주형

공시체로 제작하여 압축강도 시험을 실시하였으나, 이 연구에서는 앞서 서술한 바와 같이 공시체 제작이 가능한 정도의 시료 획득이 불가하였다. 따라서 초음파속도 측정 결과와 함께 반발경도 측정값을 산출하고 압축강도로 환산하여 물성을 해석하였다.

각각의 측정값을 비교해 보면 초음파속도는 일부 유사한 구간을 보이고 있으나, 상대적으로 궁리유적의 초음파속도가 더 높은 범위를 나타냈다. 반발경도를 통해 추정된 궁리유적 회곽묘의 압축강도는 2.0 이하의 낮은 물성을 보이는 지점이 일부 있다. 그러나 평균 16.6~24.4 MPa로 산출되어 Park *et al.*(1999)과 Do *et al.*(2003)이 제시한 회곽묘의 압축강도와 전반적인 범위는 유사하게 나타났으며, 부분적으로 강한 물성을 보이기도 하였다. 그러나 모두 초음파속도와 반발경도를 통한 압축강도 비교결과에서 산출된 물성에는 차이가 있다.

4.2. 강도해석 및 적용성 검토

일반적으로 회곽은 석회, 세사, 황토 등을 혼합한 삼물을 재료로 구성하기 때문에 밀도가 불균질하다. 따라서 초음파속도 측정과정에서 음속에 많은 간섭을 받게 된다. 그러나 측정조건이 비슷한 경우에는 음속과 강도 사이에 일정한 상관성을 나타내기 때문에 강도의 추정이 가능하다. 한편 반발경도 측정 역시 측정과정에서 타격부의 표면성질과 타격조건, 타격면 골재여부 등에 따라 영향을 받기 때문에 내부 강도를 절대적으로 측정하기에는 어려움이 있다.

그러나 반발도와 압축강도의 상관관계를 이용하면 상대적으로 강도를 추정할 수 있다. 이 연구에서 활용한 초음파 속도와 반발경도 측정은 비파괴 시험으로 재료의 파괴가 필요하지 않고, 현장에서 데이터 획득이 용이하다는 장점이 있다. 압축강도와 초음파속도를 기준으로 Bell(1992)이 제안한 각 물성에 대한 암석분류를 바탕으로 공리유적 회곽묘의 강도를 살펴보면 다음과 같다.

먼저 초음파속도를 기준으로 볼 때, 경암에서 극경암의 강도를 보이며 평균 초음파속도에서는 극경암의 강도를 나타낸다. 이는 대단히 밀착된 단단한 암질로 규암 등 석영질이 풍부한 경암이 이에 해당한다(Figure 5A). 반발경도 측정을 통해 추정한 압축강도를 기준으로 회곽묘를 분류하면 연암에서 극경암의 범위를 보인다. 평균적으로는 경암에서 중경암 수준의 강도를 나타내는데 화강암과 안산암 등이 이에 속한다(Figure 5B).

초음파속도와 반발경도 측정을 통해 산출된 물성의 차이가 나타나는 것은 각 비파괴 진단법의 원리에서 기인한 것으로 해석할 수 있다. 초음파속도 측정은 발신자에서 발생한 초음파 펄스가 측정 대상의 내부를 이동하여 수신자

에 도달하기까지 걸린 시간을 구해 속도를 산출하는 방식이다. 특히 초음파속도와 반발경도 측정결과가 상이하게 나타났던 층벽식 회곽묘는 각 층위의 삼물 배합비나 기질의 구성이 상이할 수 있다. 또한 발굴과 피장자의 이장과정에서 발생한 충격으로 인해 벽체에 손상이 있다. 이러한 요인으로 인해 회곽의 고유물성과 상이한 값이 산출되었을 가능성도 있다.

슈미트해머는 대상의 측정면을 타격했을 때의 반발도를 통해 경도를 획득하고, 이를 통해 강도를 추정한다. 따라서 층벽식 회곽묘와 같이 벽체와 지면 사이에 이격이 발생하였을 경우 초음파속도 측정을 통한 물성평가에 비해 슈미트해머를 이용한 반발경도 측정이 회곽에 발생한 외부충격에 대한 영향은 덜 받았을 것으로 판단된다. 그러나 회곽 자체는 재료의 배합과 제작방식에 의해 불균질한 특성을 가지고 있고, 슈미트해머 적용과정에서 타격면의 균질도와 골재의 특성에 따라 반발도에 영향이 발생할 가능성이 있으므로 타격 과정에서 사용자의 주의가 필요하다.

초음파속도와 반발경도 측정은 현장에서 회곽묘의 물성평가가 용이하고, 공시체를 이용한 압축강도 측정과 달

Figure 5. Strength comparisons for LSMB of former studies. (A) Ultrasonic velocity, (B) Compressive strength using rebound hardness.

리 비파괴분석법으로 적용성이 높다. 그러나 측정환경과 제작방식에 따라 결과가 조금씩 다른 한계가 있으며, 특히 층벽식으로 제작하여 벽체의 불균질성이 두드러지는 회곽묘에서 그 차이가 확연하게 나타난다. 반면 통벽식으로 제작한 회곽묘의 경우에는 추정된 강도값의 차이는 있으나 그 경향이 동일하게 나타났다.

따라서 초음파속도와 반발경도 측정을 통한 물성평가는 통벽식으로 제작한 회곽묘의 강도추정에 더욱 효과적인 것으로 판단된다. 또한 불균질한 재료의 혼합과 다양한 기법이 적용된 회곽묘와 같은 재질에 대한 간접적 강도측정은 측정기기의 면적과 지향성이 단순한 반발경도법이 초음파법에 비해 일정한 값을 제시하였다.

5. 결 언

1. 회곽묘는 조선시대의 대표적인 묘제로 당시의 사회와 장례문화 이해에 중요한 자료이다. 회곽 자체에 대한 과학적 및 공학적 연구는 일부 연구자들에 의해 수행된 바 있다. 이 연구에서는 평택 궁리유적에서 확인된 회곽묘를 대상으로 비파괴 방법을 적용하여 물성을 평가하였으며, 제작방식에 따라 강도를 해석하였다.

2. 초음파속도 측정결과, 층벽식으로 제작한 회곽묘는 1,708~4,536 m/s의 범위를 나타냈으며, 통벽식으로 제작한 222호 및 223호 회곽묘는 2,657~6,574 m/s와 1,790~6,483 m/s의 속도를 보였다. 반발경도 측정결과, 층벽식 회곽묘의 평균 반발경도는 33.0이며 14.5~55.5의 범위를 보였다. 통벽식 222호 회곽묘는 평균 27.6(14.5~56.5), 223호 회곽묘는 평균 27.2(14.5~49.5)로 층벽식 회곽묘에 비해 낮은 분포를 나타내었다.

3. 초음파속도 측정에서는 층벽식으로 제작한 회곽묘의 물성이 낮게 나타났으나, 반발경도 측정결과 층벽식 회곽묘의 물성이 높게 산출되었다. 궁리유적 회곽묘의 물성을 선행연구 결과와 비교하면, 초음파속도는 비교적 유사한 범위를 보이나 궁리유적 회곽묘에서 상대적으로 높게 나타났다. 반발경도 측정을 통해 산출한 압축강도에서는 최소값은 낮지만 전반적인 범위는 유사하였다. 이는 상대적으로 측정면적이 작은 반발경도법이 초음파법보다 더욱 일정한 강도로 산출됨을 지시하는 것이다.

4. 초음파속도 측정의 원리를 고려했을 때, 벽체에 가해진 충격으로 손상이 발생했을 경우 회곽의 정확한 물성과 상이한 결과가 산출될 수 있다. 반발경도는 상대적으로 외

부충격에 대한 영향은 낮지만 타격과정에서 사용자의 주의가 필요하다. 모두 각각의 한계점을 가지고 있으나 측정 대상의 파괴가 없고 현장 적용성이 뛰어난 기법이다. 특히 통벽식으로 제작한 회곽묘에 적용했을 경우 강도의 차이는 있으나 유사한 경향성을 보인다. 따라서 층벽식으로 제작한 회곽묘에 비해 통벽식으로 제작한 회곽묘의 물성평가에 더욱 효과적인 것으로 판단된다.

사 사

이 논문에 활용한 회곽묘의 물성측정은 (재)한양문화재 연구원의 도움을 받아 현장에서 직접 수행하였음을 밝히며, 시료제공과 편의를 베풀어 주신 관계자 여러분께 깊이 감사드린다.

REFERENCES

- Bell, F.G., 1992, Engineering in rock masses. Butterworth-Heinemann, 1-572.
- Do, S.J., Kim, W.N. and Park, Y.H., 2003, A study on the physical and chemical characteristics of the mummies found in Korea. Comprehensive Research Papers of Yoon's Mother and Son Mummies, 229-237. (in Korean)
- Hanyang Institute of Cultural Heritage, 2017, The 2nd academic advisory council on excavation sites in housing construction projects in Pyeongtaek Gungri 2 Site. 1-53. (in Korean)
- Iliev, I.G., 1966, An attempt to estimate the degree of weathering of intrusive rocks from their physical-mechanical properties. Proceedings of the International Congress on Rock Mechanics, 1, 109-114.
- Jeon, K.H., 2000, A study on the experiment for mechanical property of clay brick using ultrasonic pulse velocity. Master's Thesis, Kyonggi University, Suwon, 1-51. (in Korean with English abstract)
- Jo, Y.H., 2011, Physical deterioration evaluation and structural safety diagnosis of stone cultural heritage using nondestructive precision technology. Ph.D. Thesis, Kongju National University, Kongju, 89-103. (in Korean with English abstract)
- Kang, S.H. and Lee, C.H., 2018, Interpretation of material

- characteristics and making techniques for lime-soil mixture on tomb barrier of Pyeongtaek Gungri site in Joseon Dynasty. *Economic and Environmental Geology*, 51, 49-65. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Eo, E.I. and Shin, S.C., 2017, Analysis on composition and strength of lime-soil mixture tomb barrier at Guri Galmae site in Joseon Dynasty. *Korean Journal of Cultural Heritage Studies*, 50, 40-61. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Jo, J.H. and Kim, J.Y., 2016, Interpretation of limestone provenance, materials and making characteristics for lime-soil mixture on tomb barrier of the Yesan Mokri site in Joseon Dynasty. *Journal of Conservation Science*, 32, 471-490. (in Korean with English abstract)
- Lim, S.Y., 2008, A study on the estimation of compressive strength of concrete by non-destructive test. Master's Thesis, Daegu University, Gyeongsan, 1-118. (in Korean with English abstract)
- Park, H.D., Hwang, C.H. and Kim, S.S., 1999, Engineering research on the burial ground materials of the buried cultural assets in Andong. *Journal of Conservation Science*, 8, 51-57. (in Korean with English abstract)
- Whitehurst, E.A., 1966, Evaluation of concrete properties from sonic test. *American Concrete Institute Monograph series*, 2.
-