

## 연마와 화염버너로 가공한 석판재의 품질특성 비교연구

Quality characteristics comparative study on the stone board which it  
processes with the polishing and flame burner

강지호 \*

Kang, Ji-Ho

장명환 \*\*

Jang, Myoung-Hwan

### Abstract

It compared quality characteristics for the stone surface treatment system and its products. With the result, the flame burner equipment was mainly used to the surface treatment of granite, but it occurred greatly the high temperature, the rock fragment, the noise and dust. For the other side, the whetstone polishing machine for the polishing was a maintenance for the specific physical properties of stone, and it did not occur the stone fragment and the dust.

The durability of the stone products due to the flame burner was investigated with that it falls to 20~25% more than the surface treatment by the whetstone polishing. Share's hardness of the polishing products in the durability test showed more greatly index than the flame burner and conventional product. The polishing products of Pochon stone in the case of the abrasion resistance showed great more 15% than the general products, more 9% than the products by the flame burner.

### 1. 서론

일반적으로 석재는 강도와 내구성이 우수하고, 반영구적인 수명과 미적특징 등 고유의 장점으로 인하여 내외장재나 구조용 토건재로서 널리 이용되고 있다. 이러한 석재는 채석, 활석, 표면처리, 재단 등의 과정을 통하여 상품화 된다[1].

특히 석재의 표면처리기술은 석재고유의 칼라와 석재료의 내구성을 유지시켜주는 중요한 단계이다. 이러한 표면처리기술에는 화염버너, 워터젯, 연마 등의 방법 등이 있다 [2]. 석재표면처리 방법중 화염버너는 암석의 조암광물들의 열팽창 차이를 이용 석재의 표면을 고온 처리하여 석영질 입자를 튀어내는 방법이다. 이 방법은 석재의 색상 및 광택의 풍화를 최대한 방지하는 기술로 주로 결정질 화강암에 주로 사용된다.

\* 군장대학 산업경영과 교수

\*\* 대한광업진흥공사 자원개발처 과장

워터젯에 의한 표면처리는 최근 제안된 방법으로서 석재표면에 고압의 살수를 가함으로써 상대적으로 굳기가 약한 장식이나 다른 광물들을 표면에서 떼어내는 방법이다[1]. 표면연마에 의한 석재의 표면처리는 외부풍화에 가장 크게 저항할 수 있는 방법이다. 표면이 연마광택 처리된 석재료의 경우 표면처리 과정을 통하여 기공이 막혀짐으로 방수처리가 이루어진다. 따라서 이러한 석판재는 외부요인에 의하여 풍화 등에 훼손되는 일이 드물다[4]. 이들의 표면처리 방법 중 화염버너에 의한 방법은 석재의 기공을 노출 시킴으로서 외부의 저해요인들이 쉽게 파괴될 수 있을 뿐만 아니라 석재의 거친 표면들을 청소하는 작업이 보다 어려워진다. 또한 화염버너 처리 또는 Bush hammering 처리된 부분의 표면에서는 바람과 빗물 등을 쉽게 흡수함으로써 온도의 변화가 심한 경우 수축팽창이 가속화되어 파손되는 부위가 크게 늘어나는 구조적인 단점이 있다. 때문에 석재의 표면처리방법에 사용되는 석재의 두께를 충분히 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 연마와 화염버너방법으로 표면처리한 석판재 등에 대하여 품질특성 및 내구성 등을 비교분석 하였다.

## 2. 표면처리공정 비교

일반적으로 석재는 풍화에 대한 저항성과 보다 향상된 착색과 광택을 주기 위하여 표면처리를 실시한다. 석재의 표면은 장시간에 걸친 풍화작용과 같은 외부의 영향을 받아 변화하게 됨으로 석재의 표면을 비정질화 또는 미세정질화 함으로써 표면층의 공극을 보다 적게 할 수 있고 외부환경의 영향으로 인한 색상이나 광택의 변화를 더욱 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 표면처리시 표면의 성분이 분해되거나 화학적 변화를 일으켜 물성이 나빠지는 것과 같은 바람직하지 못한 현상이 야기되지 않는 한 자연산이든 연마편이든 간에 표면을 비정질화 또는 미세정질화 할 필요가 있다.

연마공정은 절삭용 메탈본드나 연마용 마석을 이용하여 석재의 표면을 절삭하여 연마하는 방법이고 화염버너가공은 화강암류를 구성하고 있는 석영입자 등의 열팽창차를 이용하여 석재표면에서 튀겨내는 방법이다[3].

### 2.1 화염버너 가공

화염버너가공은 화염온도는 약 1,800~2,800℃로 석재표면을 가열하여 열에 의한 팽창으로 암석 표면의 광물을 튕겨내며 요철면을 형성하는 방법이다. 버너제품은 가공표면을 냉각수로 세정시키고 다시 규사 또는 탄화규소 등을 물과 섞은 혼합액을 고압으로 불어서 표면의 빛깔과 촉감을 좋게 한다. 보통 직경 4.7mm의 노즐에서 압축공기와 천연가스가 연소되어 분출되면서 표면두께 2~2.5mm로 돌 표면을 불어 낸다. 제트 버너용 판재의 마무리 두께는 열 충격에 의한 제품의 파손을 막기 위하여 최소 40~50 mm를 요하고 있다.

### 2.2 연마가공

최근에는 건물의 고급화 추세와 박판재 제작 등의 발달로 인하여 연마제품이 많이 이용되고 있다. 이러한 이유는 석재 표면 수분 흡수율이 낮고, 박판재 제작으로 인한

석제품 두께가 얇아져 상대적으로 중량이 적은 판재를 구조물에 시공함으로써 구조물의 내구성을 높일 수 있기 때문이다. 연마기공장비에는 메탈연마기, 수동연마기 등이 있다. 메탈연마기는 절삭기에서 절삭된 판재표면에 광택을 내어 판재의 부가가치 향상을 위한 것으로 수동연마기의 문제점을 보완하여 일정한 품질의 제품을 연속적으로 생산할 수 있는 기계로 마석용과 메탈용이 있다. 수동연마기는 절삭된 판재나 블록표면에 광택을 내는 장비로 기계의 강성이 높아 진동에 강하여 정도를 높일 수 있으나 생산량이 적고 작업자의 숙련이 필요하다.

보통 마석 및 메탈연마기는 연마헤드 수에 따라서 작업효율과 공정을 다양하게 변화시킬 수 있다. 즉 자동연마기는 건축재의 대형판재를 연마하기 위한 다헤드 라인을 설치하여 한꺼번에 많은 면적을 연마해 낸다. 연마기에서 수동연마기는 작업자의 습관 및 숙련도에 따라 다르지만 기계헤드의 자체중량과 작업자가 핸들에 작용하는 하중을 합쳐 약 60~80kg이 걸린다고 추정한다. 따라서 가압하중은 연마성 및 연마판의 수명에 차이를 주며 작업자에 따라 큰 차이가 있다. 자동의 경우에는 유압식으로 0.5~1.5kg/cm<sup>2</sup>을 가압할 수 있도록 설계한다.

최근에는 석재연마기 헤드에서 연마숫돌을 좌, 우 유동되게 하는 석재연마기헤드의 연마숫돌 유동장치가 개발되어 회전하는 연마기 헤드의 하부에 설치된 연마숫돌을 규칙적으로 좌, 우 유동되게 하여 석재 연마를 확실히 수행할 수 있도록 개발하였다[3]. 개발된 다축마석 연마장치는 완전 습식 연마방법을 채택함으로써 완벽한 분진 발생을 억제하고 있으며, 석재 표면의 색상도 자연 그대로 유지시킬 수 있다는 장점이 있다[3].

#### 4. 표면처리 제품의 품질특성 비교

석재의 품질은 물성이나 색상에 좌우될 경우가 많지만 가공품의 색상, 무늬, 치수나 형태에 의한 경우가 많다. 건축재는 특히 균질한 색상과 용도에 따라 물성이 매우 중요하다. 일반적으로 석재의 물리적 성질이 건축물에 미치는 영향은 <표 1>과 같다.

<표 2> 석판재의 물리역학적 특성이 구조물에 미치는 영향

물리적 특성 용도	비중	흡수율	압축강도	저온하 압축강도	장 력	탄성율	팽창성	충격저항	마모도	
외 벽	○○	○○	○○	○○○	○○○	○○	○○		○	
내 벽	○○	○	○		○					
외부바닥	○○	○○	○○	○○○	○○	○	○	○○○	○○○	
내부계단	○○	○	○		○○			○○○	○○○	
조립계단	○○	○	○○		○○○			○○○	○○○	
Cladding	○○	○○	○○		○○			○○	○	
범 위	H	2.68	0.60	837	787	112	427	0.0027	26	0.25
	L	2.72	3.55	1523	1413	239	840	0.0102	75	0.69

※ ○○○:매우중요 ; ○○:중요 ; ○:약간중요[무역협회]

표에서 석판재의 용도는 건물의 내외벽과 바닥재 등에 다양하게 적용되고, 특히 바닥재로는 마모도와 충격저항이 중요한 인자이며, 그 밖의 비중, 흡수율 압축강도 등으로 분석되었다. 특히 KS F 2530에서 석재의 압축강도로서 경석인 경우에  $500 \text{ kg/cm}^2$  이상인 경우로서 대부분의 석재는 압축강도가  $1000 \text{ kg/cm}^2$ 이 넘는다. 따라서 본 연구에서는 충격저항과, 마모도, 비중, 흡수율에 대한 고찰을 통하여 연마제품과 화염버너제품을 비교분석하였다.

#### 4.1 실험 및 분석결과

본 연구에서는 표면처리방법에 따른 석제품의 품질특성을 비교하기 위하여 암석의 기초물성인 비중, 흡수율, 쇼아경도, 마모경도에 대하여 연마제품과 화염버너제품을 활석처리 된 제품과 비교분석하였다.

##### 4.1.1 기초물성 분석

암석의 기초물성으로서 단위중량과, 흡수율은 건축물 시공시 하중에 영향을 미치는 요소이다. 흡수율은  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 유지된 건조로에서 24시간 완전 건조시킨 후  $\pm 0.01\text{g}$ 의 정밀도로 무게를 측정 한 후 버니어캘리퍼스로  $\pm 0.01 \text{ mm}$ 의 정밀도로 측정된 시편의 각 변의 길이로부터 구한 시편체적으로 나누어 단위중량을 구하였다. 흡수율은 증류수에 48시간 침수시킨 후 수분포화된 시편의 무게를 동일한 방법으로 측정하여 상기한 건조 무게와의 차에 의한 흡수율을 구하였다.

<표 3> 시료의 물리적 성질

시 료	비중	흡수율	시 료	비중	흡수율
황 등 석	2.63	0.288	포 천 석	2.59	0.390
황등석(연마)	2.62	0.253	포천석(연마)	2.57	0.305
황등석(버너)	2.62	0.255	포천석(버너)	2.55	0.313

실험결과는 <표 2>과 같다. <표 2>로부터 표면처리를 한 시료는 표면처리를 하지 않은 시료에 비하여 비중과 흡수율 모두 낮게 나타났다. 비중의 경우 황등석은 연마제품이나 화염버너제품이 거의 대동소이하게 측정되었으나, 포천석의 경우 화염버너제품이 연마제품보다 낮은 것으로 분석되었다. 그러나 흡수율의 경우 연마제품이 화염버너보다 더 작은 것으로 분석되었다. 또, 두 제품을 함수시키지 않고 표면처리 된 석재의 표면상에서 물방울을 낙하시킬 때 연마제품은 물이 모두 미끄러져 내려갔으나, 화염버너 제품에서는 일부분은 흡수를 하고 일부분은 밑으로 흘러내려가는 특성을 보여주었다. 따라서 물리적 성질에서는 연마제품이 화염버너제품 보다 함수 측면에서 더 우수한 물리적 특성을 보여주었다.

#### 4.1.2 쇼아경도 및 마모경도

반발경도인 쇼아경도는 암석의 조성, 구조, 조직에 따라 큰 분산치를 나타내므로 각 시험편의 표면을 연마제로 표면을 연마한 후 각 시험편의 표면당 30 point 씩 측정된 결과를 평균하여 구하였다. 마모시험은 암석의 마모에 대한 저항력을 측정하는 시험으로써 이 시험은 연마제에 의한 마모, 금속과의 접촉에 의한 마모, 암석간의 접촉에 의한 마모 등을 포함하고 있다. 이런 시험방법들은 Abrasive Wear Impact Test, Abrasive Wear with Pressure Test, Attrition Test로 구분될 수 있으며, 본 연구에서는 ASTM C-241-51 규정에 의한 Abrasive Wear with pressure Test의 일종인 Dorry 마모시험기를 사용하였다[6].

본 시험에서는 50×50×25 mm의 시험편을 3개씩 준비하여 각 시험편을 2000g의 하중을 주어 금속원판에 압착시킨다. 금속원판은 45 rpm으로 회전하며 시험편은 금속원판과 반대방향으로 회전한다. 시험 중에는 60 mesh caborandum 연마제를 일정량 연속적으로 뿌려주며, 회전원판이 225회전할 때까지의 무게손실을 측정하고 미리 측정된 원 시험편의 비중과 중량을 이용하여 다음 식에 의하여 구한다.

$$Ha = \frac{10G(2000 + W_s)}{2000 W_{loss}} \quad (1)$$

위의 식에서 G는 시험편의 체적비중,  $W_s$ 는 시험전후 시험중량의 산술평균,  $W_{loss}$ 는

시험 중 손실된 시험편의 중량이다. 이식에서 2000  $W_s$ 는 시험 중 시험편에 가해진 압

력을 나타낸다. 따라서 마모경도는 Tearing에 대한 결합물질의 저항력이 가장 큰 요소로 작용하며 석재가 Foot traffic[7]이나 마모에 쉽게 노출되는 장소의 시공재료로서의 용도적합성 판단에 효과적인 자료들[7] 제공해 줄 것으로 사료된다. 이상의 방법에 의한 실험결과는 <표 9>와 같다.

<표 4> 시료의 쇼아경도와 마모경도 시험결과

시 료	쇼아경도	마모경도	시 료	쇼아경도	마모경도
황 등 석	78±9	36.5	포 천 석	82±11	40.0
황등석(연마)	97±5	43.7	포천석(연마)	105±4	46.2
황등석(버너)	53±14	38.3	포천석(버너)	61±17	42.3

<표 3>에서 황등석의 쇼아경도는 연마제품이 보통판재 보다는 24%이상 증가되었으나 바나 제품에서는 28%정도 감소하였다. 또 포천석의 경우에는 연마제품이 보통판재보다 28%가 증가되었으며, 바나 제품에서는 26%정도가 감소하였다. 이러한 이유는 연마 제품은 석영 입자 등의 표면이 마광되어 쇼아 경도계의 바늘이 일정한 각도로 타격

이 될 수 있으니 바나 제품인 경우에는 강성이 큰 석영 알갱이 들이 빠져나감으로 인하여 요철에 의한 굴곡과 상대적으로 강성이 작은 장식질 들 때문인 것으로 사료된다. 또 마모경도의 경우에는 표면처리를 하였을 때가 일반판재보다 마모저항성이 더 큰 것으로 나타났다. 특히 포천석의 연마제품은 일반제품보다 15%정도 저항성이 크게 나타났으며, 바나 제품보다는 9% 정도 마모저항성이 크게 나타났다. 이러한 이유는 포천석이 상대적으로 강성이 큰 석영을 많이 포함하고 있기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 실험결과는 표면에 광택처리가 된 석재와 화염버너에 의하여 표면가공된 석재의 내구성을 비교할 때 후자의 내구성이 20~25%가 떨어진다는 기연구된 보고와 부응하고 있음을 알 수 있다[8].

## 5. 결론

석재표면처리장치와 그 제품에 대한 성능과 특성을 비교하기 위하여 연마숫돌로 연마된 석판재와 화염버너 처리된 제품의 품질특성을 비교분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 표면이 연마광택 처리된 석재료의 경우 표면처리 과정을 통하여 기공이 막혀짐으로 방수처리가 이루어져 외부요인에 의하여 풍화 등에 훼손되는 일이 적은 것으로 조사되었다.
- (2) 화염버너 제품은 연마제품에 비하여 석재의 기공을 노출시킴으로서 외부의 저해요인들이 쉽게 파고들 수 있을 뿐만 아니라 석재의 거친 표면들을 청소하는 작업이 보다 어려워지는 것으로 조사되었다.
- (3) 또 화염버너 처리된 부분의 표면에서는 바람과 빗물 등을 쉽게 흡수함으로서 온도의 변화가 심한 경우 수축팽창이 가속화되어 파손되는 부위가 크게 늘어나는 구조적인 단점이 있는 것으로 조사되었다.
- (4) 화염버너 장비는 결정질 화강암에의 표면처리장비에 주로 쓰이는 것으로서 고온과 암석파편 및 소음분진 등이 많이 발생되고, 연마기는 고유물성을 유지해주면서 사용상에서도 석재파편이나 분진 등은 발생하지 않는 것으로 나타났다.
- (5) 화염버너에 의한 석제품이 마광에 의하여 표면 가공된 석재의 내구성에 비하여 20~25%정도 떨어지는 것으로 조사되었다.
- (6) 황등석의 쇼아경도는 연마제품이 보통판재 보다는 24%이상 증가되었으나 화염버너 제품에서는 28 %정도 감소하였다. 또 포천석의 경우에는 연마제품이 보통판재보다 28 %가 증가되었으며, 화염버너제품에서는 26%정도가 감소하였다.
- (7) 마모경도는 표면처리를 하였을 때가 일반판재보다 마모저항성이 더 큰 것으로 나타났다. 특히 포천석의 연마제품은 일반제품보다 15%정도, 화염버너제품 보다는 9% 정도 마모저항성이 크게 나타났다. 이러한 이유는 포천석이 상대적으로 강성이 큰 석영을 많이 포함하고 있기 때문인 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 강지호, 장명환, “워터젯 시스템을 이용한 석재표면처리장치의 개발”, 산업경영시스템학회지, 제26권 제3호, pp.31-38, 2003
- [2] 강지호, “석재표면가공시 소음과 분진감소와 재해발생유해물질제거장치 기술개발에 관한 연구”, 중소기업청, 2003
- [3] 강지호, “작업환경 개선을 위한 석재가공업 연마공정의 다축마석연마장치 개발”, 안전경영과학회 2004추계학술대회
- [4] 김완모, 조동성, 1989, 석재의 착색 및 표면처리, 1989 한국자원공학회 추계심포지움, 95-102
- [5] Robie, R.A. et al., “Thermodynamic properties of Minerals & Related Substance at 298.15 K & 1 Bar Pressure & at Higher Temperatures”, 1978
- [6] Atkinson, R.H., Bamford, W.E., Broach, E., Deere D.U., “Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks”, Int. J. Rock Meck and Min. Sci., 15(3), pp.89-98, 1978
- [7] ASTM, “Standard Specification for Granite Building Stone”, 1985
- [8] Sacchelli, Eng. S., “Technological symposium on the Extraction and Treatment of Mables and Stones” pp.12, 1987