

## 다구찌 방법을 이용한 석재표면처리장치의 최적표면가공조건 선정에 관한 연구

- The Optimal Parameter Design of the stone  
surface equipment Using the Taguchi Method -

김 득 주 \*

Kim Deuk Ju

서 장 훈 \*\*

Seo Jang Hoon

박 명 규 \*\*\*

Park Myung Kyu

### Abstract

There is boner process of stone manufacturing to become quality down of stone to consolidated micro crack appearance of stone surface and biotite by fire that is to be route process in stone surface by flame of LPG. And then, it is develop that stone surface process equipment by automation for the work method of boner process can be substitute work method by shotball blasting. To development of equipment, There is to be down noise and dust. Acording to remove calamity growth hazardous substance in the work environment, there is to solve workplace avoidance factor

We have taken Taguchi's parameter design approach, specifically orthogonal array, and determined the optimal levels of stone surface through analysis of the experimental results using S/N ratio.

**Keyword : Parameter Design, Taguchi Method**

---

† 본 연구는 명지대학교 산학연 컨소시엄 센터 지원으로 수행되었음.

\* 명지대학교 산업시스템공학부 석사과정

\*\* 명지대학교 산업시스템공학부 박사과정

\*\*\* 명지대학교 산업시스템공학부 교수

## 1. 서론

일반적으로 석재는 강도와 내구성이 우수하고, 반영구적인 수명과 미적특징 등 고유의 장점으로 인하여 건물 내외장재나 구조용 토건재로서 널리 이용되고 있다. 우리나라의 석재산업은 크게 원재료 공급측면에서 부존자원을 개발하는 채석업, 채석된 원석을 건축재와 석제품으로 가공하는 석재가공업, 건설부문 기초 원자재를 공급하는 석산골재업으로 구분된다[1].

석재표면처리기술에는 화염버너, water jet, 연마 등의 방법 등이 있으며 표면처리기술은 석재 고유의 칼라와 석재료의 내구성을 유지시켜주는 중요한 단계이다[2].

이중 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.

water jet에 의한 표면처리방법은 최근에 개발한 방법으로서 석재표면에 고압의 살수를 분사함으로써 상대적으로 굳기가 약한 장식이나 다른 광물들을 표면에서 떼어내는 방법이다[3,5].

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.

석제품에 대한 수요가 증가하고 가공법이 발달하면서 석재가공설비가 대형화됨에 따라 발생하는 소음이 높아지고 있다. 소음발생이 특히 문제가 되는 공정은 원석을 절단하는 공정으로 절단날과 원석간의 마찰소음이 발생되는데, 소음수준은 절단기의 종류 및 절단 깊이(절단날이 1회 왕복시 절단되는 깊이)에 따라 달라진다. 소음 폭로시간은 원석을 절단작업대에 올려놓고 절단기를 정상 가동시킨 후 작업자는 주기적으로 작업진행 상황을 점검하게 되므로 작업조건에 따라 소음 폭로시간은 달라진다. 그리고 화염버너공정에서도 압축된 고압산소와 아세틸렌 또는 프로판 가스를 혼합하여 사용하는 과정에서 화염분사소음이 노출기준을 초과하고 있다[4].

연마공정에서는 작업자가 휴대용 연삭기, 정, 망치, 비상 등을 사용하여 연삭가공, 정다듬, 잔다듬 작업을 하는 것으로 각 작업 공히 작업자가 직접 기기를 휴대하고 작업하기 때문에 작업시 발생하는 고 소음에 장시간 폭로되고 있다. 연마작업에서 소음은 제품과 연마기와의 마찰소음이 발생되고 있다. 한국산업안전공단에서 1991년에 실태조사한 석제품 제조업체의 소음수준은 < 표 1 >와 같이 절단, 화염버너, 연마공정에서 모두 8시간 폭로허용기준 90dB(A)를 초과하고 있으며 작업자 개인폭로 소음도 각 공정에서 허용기준에 근접하거나 초과하고 있는 실정이다[4].

또한 석재가공업에서 문제가 되는 분진은 화염버너작업과 샌디 연마 작업 중에 주로 발생되며 분진의 특징은 규산( $\text{SiO}_2$ ) 함량(화강암기준)이 68~74%인 규사성분진이다. 석재에 대한 정밀가공의 필요성이 증가되면서 분진 발생증가와 폭로시간 증가로 근로자가 유해요인에 폭로되는 정도가 심해지고 있다.

원석을 절단하는 절삭공정은 절단면에 물을 뿌리면서 절단하는 경우가 대부분이기 때문에 분진발생은 문제가 되지 않는다. 그러나 표면가공에서 습식작업일 경우 분진은 소량 발생되지만 건식작업인 화염버너와 메탈연마작업 과정에서는 다량의 분진이 발

생되고 있다. 화염버너작업은 옥외 또는 반 옥외에서 이루어지기 때문에 기류상태 및 작업자의 작업방향 등에 따라서 농도차가 심하다.

< 표 1 > 석재 가공업의 절삭, 화염버너, 연마공정의 소음수준

단위 : dB(A)

| 공 정  |          | 소음수준<br>(평균±표준편차) | 개인폭로소음수준<br>(평균±표준편차) |
|------|----------|-------------------|-----------------------|
| 절삭   |          | 102.9 ± 7.1       | 94.8 ± 2.4            |
| 화염버너 |          | 99.1 ± 4.1        | 93.6 ± 2.6            |
| 연마   | 샌디 연마    | 95.1 ± 4.0        | 92.0 ± 3.1            |
|      | 고정식 회전연마 | 93.1 ± 4.2        | -                     |
|      | 선반식 연마   | 96.0 ± 1.0        | 89.5 ± 0.5            |

\* 허용기준(TWA-TLV) : 90dB(A)

특히 화염버너작업은 화염온도 약 1,800~2,000℃로 돌 표면을 가열하여 열에 의한 팽창으로 암석 표면의 광물을 튕겨내어 요철 면을 얻는 작업방법이다[2].

석재표면을 요철 하는 과정에서 석재구성재의 열응력에 따른 석재표면의 미세 균열 현상과 열에 의한 흑운모가 융착 되어 석재 품질의 저하 요인으로 대두되고 있으며, 프로판가스의 소모량이 많은 단점을 갖고 있다[9, 10]. 또한 이 방법은 석재의 기공을 노출시킴으로서 외부의 저해요인들이 쉽게 파고들 수 있을 뿐만 아니라 석재의 거친 표면들을 청소하는 작업이 보다 어려워진다.

또한 화염버너로 처리된 석재표면으로 바람과 빗물 등을 쉽게 흡수됨으로서 온도의 변화가 심할 경우에는 수축팽창이 가속화되어 파손되는 부위가 크게 늘어나는 구조적인 단점이 있다. 때문에 석재의 표면처리방법에 사용되는 석재의 두께를 충분히 고려하여야한다[9]. 그리고 석재표면 작업 시 소음과 분진이 노출기준을 초과하고 있으며, 고열취급에 따른 화상, 파편타박상 등 재해위험이 매우 높은 공정이라고 인식되어 석재가공업체로 취업하기를 기피하고 있어 화염버너공정에 대한 개선의 필요성이 제기되었다[4].

따라서 화염버너공정의 열처리 작업방법을 쇼트볼 블라스팅을 이용한 표면처리 작업방법으로 대체할 수 있는 석재표면가공장치를 자동화로 개발하였다[4]. 이 장치의 개발로 소음과 분진이 획기적으로 감소되었으며 재해발생유해물질이 제거됨에 따라 쾌적한 작업환경으로 바뀌춤으로써 현장직무기피요인을 해소할 수 있었다. 화염버너가공과 쇼트볼 블라스팅 가공에 대한 장단점 비교를 < 표 2 >에 제시하였다[4].

본 연구의 목표는 석재가공업의 현장 직무기피요인을 해소하고자 최근에 개발된 쇼트볼 블라스팅 석재표면처리장치를 효율적으로 활용하기 위하여 쇼트볼 블라스팅의 운영조건을 다구찌방법으로 이용하여 최적 석재표면가공조건을 선정하고자 한다.

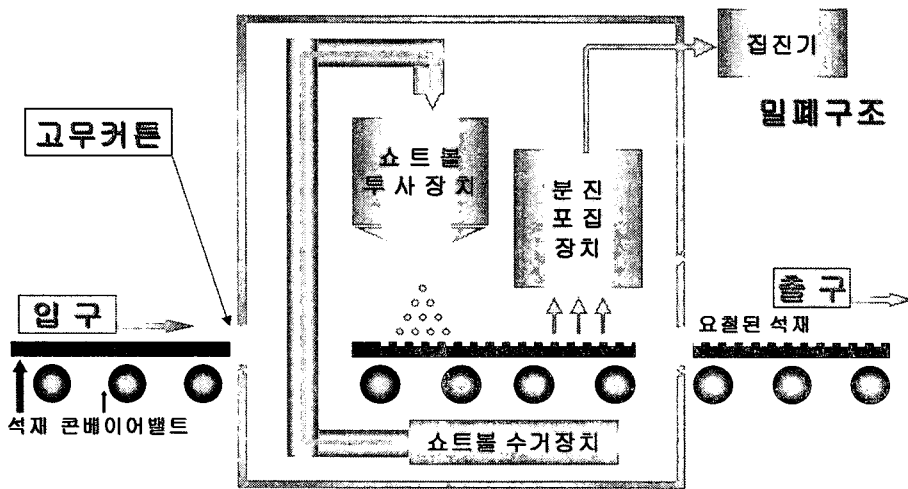
< 표 2 > 화염버너가공과 쇼트볼 블라스팅 가공 장단점 비교

| 내용         | 버너 가공   | 쇼트볼 블라스팅 가공  |
|------------|---|--|
| 공법원리       | · 고열가열로 석재표면 팽창에 의한 박락 불규칙 가공   | · 2~3mm 금속입자를 빠른 속도로 투사시켜 요철 가공                                  |
| 적용대상       | · 화강암에 한함   | · 모든 석재에도 가능   |
| 표면 안정성     | · 가열에 인한 물성변화와 석재 표면에 미세균열 형성   | · 석재의 고유물성 자연 그대로 유지   |
| 마감면의 질감    | · 불규칙하고 석영등이 녹아 유리 처럼 광택 형성부분이 발생   | · 균일하게 고운 다듬이 되어 부드럽고 무광택 자연미 없음                                 |
| 마감면의 색상    | · 1800~2000℃ 열에 의한 가열 표면의 석영등은 팽창 박락되고 하부에 있는 석영등은 결정질로 응고됨<br>· 흑운모는 열에 강하여 표면에 응착됨<br>· 가공후의 색상이 원석보다 더 어두운 색으로 변화됨 | · 석재표면의 광물 중 충격에 약한 흑운모 등이 박락됨<br>· 색상이 원석보다 더 밝음<br>· 품질은 균일화 됨 |
| 거칠기 조절     | · 거칠기 조절 불가능  | · 거칠기 조절 불가능   |
| 가공속도       | · 0.5 m <sup>2</sup> /분   | · 1.0~2.0 m <sup>2</sup> /분                                      |
| 재해발생 유해인자  | · 위험, 화상, 파편타박상<br>· 소음(96~98)dB<br>· 분진(3.0~3.7mg/m <sup>3</sup> )노출 기준초과  | · 재해위험 없음<br>· 소음(80dB이하)<br>· 분진(0.25mg/m <sup>3</sup> )        |
| 재해발생취급유해물질 | · LPG, O <sub>2</sub>   | · 취급하지 않음  |

## 2. 석재표면처리장치의 개요

새로 개발된 쇼트볼 블라스팅(Shot Ball Blasting)기술은 압축공기를 이용한 직압식 방식과 고속의 임펠러식 방식을 이용하여 석재표면에 요철을 형성하는 기술이다[4]. 직압식에 의한 쇼트볼(Shot Ball) 투사방식은 공기를 압축시켜주는 콤프레셔의 압력으로 투사되는 쇼트볼의 양과 컨베이어 이송속도, 공기압력 등을 고려하여 장치를 개발할 수 있다. 석판재를 어느 한 방향으로 이동시키면서 석재표면에 2.0~3.0mm 정도인 쇼트볼을 압축공기를 이용한 직압식과 고속의 임펠러로써 강하게 투사시켜서 석재표면에 요철을 형성시키는 것이다. 이 원리를 이용하여 장치를 개발함으로써 석재를 표면처리하는데 생산성과 품질향상, 소음과 분진을 획기적으로 감소시켰다[4]. 새로 개발된 석재표면처리장치는 고속의 임펠러방식을 이용하였다. 임펠러를 고속으로 회전시켜주는 모터의 마력에 대하여 분당 투사되는 쇼트볼의 양과 컨베이어 이송속도, 임펠러의 가공속도 및 석판재 강도의 따라 회전속도 고려하여 장치의 효율성을 증가시켰다.

< 그림 1 >은 임펠러방식의 쇼트볼 블라스팅 시스템의 구성도이다. 이 장치는 밀폐 장치의 캐비넷(전실, 투사실, 후실), 쇼트볼투사장치(Shot Ball Impeller Unit), 쇼트볼 수거장치인 수평이송장치(Screw Conveyor)와 수직이송장치(Bucket Elevator), Shot Ball 저장탱크, 선별장치(Drum Separator), 쇼트량조절장치(Shot Gate), 제품이송장치(Roller Conveyor), 분진포집장치(Dust Collector), 조작반(Control Panel)등으로 구성되어 있다.



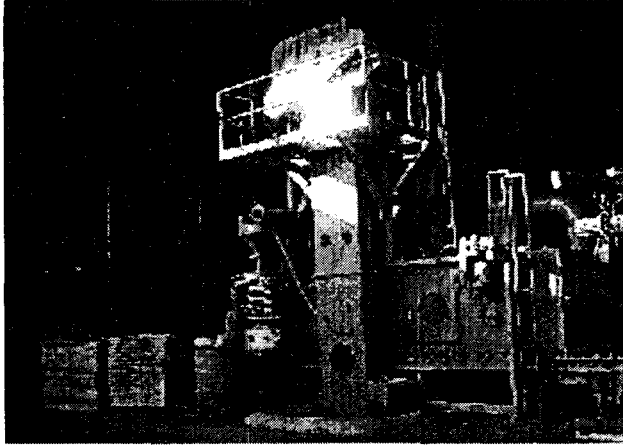
< 그림 1 > 쇼트볼 블라스팅을 이용한 석재표면가공장치 구성도

쇼트볼 블라스팅 장치(Shot Ball Blasting Machine)의 작동시 발생하는 소음이 작업장에 전파되는 것을 방지하기 위하여 본체를 캐비넷을 사용하여 밀폐시켰다. 캐비넷은 전실, 투사실, 후실로 구분하였으며 강판과 형강을 사용하여 제작하였다. 특히 소음을 저감하기 위한 조치로는 쇼트투사기 및 임펠러 등 주요 소음 발생부품은 강판재질의 캐비넷을 사용하여 밀폐하였다. 전실 및 후실 투사실쪽에는 우레탄커튼을 설치하고, 전실 후실에는 내마모성 고무커튼을 설치하여 석분 등이 외부로 누출되는 것을 차단하였다. 쇼트기에서 발생하는 진동의 전달방지를 위하여 회전기에는 진동방지용 패드 및 스프링을 설치하였다.

본 석재표면처리장치는 크게 쇼트볼 본체< 그림 2 >과 분진포집장치인 집진기 < 그림 3 >로 구분할 수 있다[4].

석재표면처리장치에 있어서 운영요소는 석재를 요철시키는데 있어서 임의로 변경시킬 수 있는 운영상의 매개변수를 의미한다[7, 11].

따라서 본 연구에서는 임펠러의 투사속도, 임펠러 높이와 대상 석재표면간의 이격거리, 컨베이어 이동속도 등 요소들이 있다. 이와 같은 운영요소들을 석재표면의 요철을 형성하는데 영향을 주는 요소이기 때문에 집중적인 관리가 필요한 실정이다.



< 그림 2 > 쇼트블 본체



< 그림 3 > 집진기

### 3. 다구찌방법을 이용한 석재표면가공조건 선정

황등석 및 포천석 등에 대한 석재 본래의 천연색상과 질감을 유지하면서 균열이 없고 균질한 조면마감이 되기 위한 석재표면가공의 최적조건을 찾기 위해 3개의 제어인자를 선정하여 실험하였다. 3개의 제어인자 중에 A인자는 제품이송 컨베이어속도에 따라 3개의 수준, B인자는 임펠러 투사속도에 따라 3개의 수준, C인자는 임펠러 높이와 석재표면의 이격거리에 따라 3개의 수준 수준으로 나누어 실험하였다. 3개의 제어인자와 제어인자의 각각의 수준은 < 표 3 >과 같다.

< 표 3 > 제어인자와 인자의 수준

| 제어인자                     | 수준  |     |      |
|--------------------------|-----|-----|------|
|                          | 1   | 2   | 3    |
| A : 제품이송 컨베이어속도(m/분)     | 1.5 | 2.0 | 2.5  |
| B : 임펠러 투사속도(m/초)        | 60  | 65  | 70   |
| C : 임펠러 높이와 석재표면의 높이(mm) | 600 | 800 | 1000 |

3개의 3수준 제어인자를 직교배열표에 할당하기 위해 L9 직교배열표를 사용하였다. 이와 같은 방법으로 직교배열표를 만들면 < 표 4 >와 같다.

< 표 4 > 실험에 사용된 직교배열표

| 요인배치 | A | B | C | e | 실험조건        |
|------|---|---|---|---|-------------|
| 열#   | 1 | 2 | 3 | 4 |             |
| 1    | 1 | 1 | 1 | 1 | $A_1B_1C_1$ |
| 2    | 1 | 2 | 2 | 2 | $A_1B_2C_2$ |
| 3    | 1 | 3 | 3 | 3 | $A_1B_3C_3$ |
| 4    | 2 | 1 | 2 | 3 | $A_2B_1C_2$ |
| 5    | 2 | 2 | 3 | 1 | $A_2B_2C_3$ |
| 6    | 2 | 3 | 1 | 2 | $A_2B_3C_1$ |
| 7    | 3 | 1 | 3 | 2 | $A_3B_1C_3$ |
| 8    | 3 | 2 | 1 | 3 | $A_3B_2C_1$ |
| 9    | 3 | 3 | 2 | 1 | $A_3B_3C_2$ |

### 3.1 실험결과의 분석

#### 3.1.1 실험설계와 실험결과

본 실험에서의 특성치는 육안검사를 통하여 불량품과 양품 두가지로 분류한 계수치 데이터이다. 즉 어떤 실험조건에서 제품을 n개 만들어 품질검사를 실시한 결과 i번째 제품의 결과를 아래와 같이 정의를 내린다.

$$y_i = \begin{cases} 0 : \text{합격품인 경우} \\ 1 : \text{불합격품인 경우} \end{cases}$$

이 경우에는  $y_i$ 의 값이 작은 것이 좋으므로 망소특성으로 생각하고 망소특성의 SN 비 공식을 사용하여

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

을 최대로 하는 조건을 찾으면 된다. 이 공식을 사용하게 되면  $y_i$ 는 0,1데이터이므로

$$\begin{aligned} SN &= -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right) \\ &= -10 \log (p) \\ &= 10 \log \left( \frac{1}{p} \right) \end{aligned}$$

이 된다. 여기서  $p$ 는 시료의 불량률로서 이  $p$ 의 값이 작으면 작을수록 SN비의 값은 커진다. 본 실험에서는 각 실험조건에서 시료를 50개씩 가공하여 불량품의 수를 세어서 적은 것을 < 표 2 >에 나타내었고, 그 값을 이용하여 SN비의 값을 계산하였다.

<표 2> 실험배치와 SN비의 값

| 요인배치 |     | A       | B         | C        | e  | 데이터           | SN비                                       |
|------|-----|---------|-----------|----------|----|---------------|---|
| 인자   |     | 컨베이어 속도 | 임펠러 투사 속도 | 석재표면의 높이 | 오차 |               |   |
| 수준   | 1   | 30      | 0.1       | 0.1      |    | 50개중<br>불량품 수 | $SN = 10 \log \left( \frac{1}{p} \right)$ |
|      | 2   | 50      | 0.2       | 0.2      |    |               |   |
|      | 3   | 100     | 0.3       | 0.3      |    |               |   |
| 열#   | 실험# | 1       | 2         | 3        | 4  |               |   |
|      | 1   | 1       | 1         | 1        | 1  |               | 9.21                                      |
|      | 2   | 1       | 2         | 2        | 2  | 6             | 9.21                                      |
|      | 3   | 1       | 3         | 3        | 3  | 2             | 13.98                                     |
|      | 4   | 2       | 1         | 2        | 3  | 2             | 13.98                                     |
|      | 5   | 2       | 2         | 3        | 1  | 2             | 13.98                                     |
|      | 6   | 2       | 3         | 1        | 2  | 1             | 16.99                                     |
|      | 7   | 3       | 1         | 3        | 2  | 5             | 10  |
|      | 8   | 3       | 2         | 1        | 3  | 3             | 12.22                                     |
|      | 9   | 3       | 3         | 2        | 1  | 2             | 13.98                                     |



### 3.1.2 SN비의 분석

각 인자들의 일원표를 만들어 보면 < 표 3 >과 같다.

< 표 3 > 각 인자들의 일원표

| 인자 \ 수준 | A     | B     | C      |
|---------|-------|-------|--------|
| 1       | 32.4  | 33.19 | 38.42  |
| 2       | 44.95 | 35.41 | 37.17  |
| 3       | 36.20 | 44.95 | 37.967 |

< 표 3 >의 각 인자들의 일원표를 이용하여 수정항과 각 변동을 계산하면 다음과 같다.

$$CT = \frac{T^2}{N} = \frac{(113.55)^2}{9} = 1432.62$$

$$\begin{aligned} SS_T &= \sum_i y_i^2 - \frac{T^2}{N} \\ &= (9.21)^2 + (9.21)^2 + \dots + (13.98)^2 - 1432.62 \\ &= 56.78 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_A &= \sum_i \left( \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) - \frac{T^2}{N} \\ &= \left( \frac{32.40^2}{3} \right) + \left( \frac{44.95^2}{3} \right) + \left( \frac{36.20^2}{3} \right) - 1432.62 \\ &= 27.61 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_B &= \sum_i \left( \frac{B_i^2}{n_{B_i}} \right) - \frac{T^2}{N} \\ &= \left( \frac{33.19^2}{3} \right) + \left( \frac{37.17^2}{3} \right) + \left( \frac{37.96^2}{3} \right) - 1432.62 \\ &= 26.03 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_C &= \sum_i \left( \frac{C_i^2}{n_{C_i}} \right) - \frac{T^2}{N} \\ &= \left( \frac{38.42^2}{3} \right) + \left( \frac{37.17^2}{3} \right) + \left( \frac{37.96^2}{3} \right) - 1432.62 \\ &= 0.27 \end{aligned}$$

SN비를 이용하여 분산분석한 결과는 < 표 4 >과 같다.

< 표 4 > SN비를 이용한 분산분석표

| 요인 | SS    | $\phi$ | V     | $F_0$ |
|----|-------|--------|-------|-------|
| A  | 27.61 | 2      | 13.81 | 9.62  |
| B  | 26.03 | 2      | 13.02 | 9.07  |
| C  | 0.27  | 2      | 0.14  | 0.09  |
| e  | 2.87  | 2      | 1.44  |       |
| T  | 56.78 | 8      |       |       |

SN비에 대한 분산분석 결과  $\alpha=0.05$ 에서 A인자(컨베이어 속도), B인자(임펠러 투사 속도)가 유의한 인자임을 알았다. C인자(석재표면의 높이)는 F-검정 상으로는 유의하지 않은 인자임을 알 수 있다. 또한 유의한 인자들의 최적수준은 < 표 3 >에서 보면 알 수 있듯이  $A_2B_3$ 이다.

#### 4. 결 론

새로 개발된 석재표면가공장치를 효과적으로 활용하기 위해서 본 실험에서는 황등석(화강암)에 대한 석재 본래의 천연색상과 질감을 유지하면서 균열이 없고 균질하고 고운 석재표면으로 가공하기 위하여 최적가공조건을 다구찌 기법을 이용하여 분석하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

① 제어인자에 대한 SN비의 분석결과 컨베이어 속도의 변화와 임펠러 투사속도의 변화가 실험에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었다. 하지만 석재표면의 높이의 변화는 실험에 아무런 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

② 실험을 해본 결과 컨베이어 속도는 2.0m/분, 임펠러 투사속도는 70m/초 일때 황등석에 대한 최적조건임을 알 수 있었다. 석재표면의 높이의 변화는 특성치에 영향을 주지 않지만 현재 석재표면의 높이는 800mm로 생산을 하고 있기 때문에, 석재표면의 높이의 변화없이 그 조건을 계속 유지해도 무방하다고 판단된다.

또한 새로 개발된 석재표면처리장치의 운영요소와 최적가공조건은 일치하므로 이를 표준화시켜 기존 화염버너작업보다 석재품질 및 작업생산성 향상과 인원 및 가공비를 절감하는 효과를 기대할 수 있게 되었다. 앞으로도 석재산업의 가공업종은 중국과 가격경쟁에서 우위를 확보하려면 원가절감이 필요하며 이를 위해 제조공정에 대한 지속적인 기술개발이 요구된다.

## 5. 참 고 문 헌

- [1] 대한광업진흥공사, “석재산업의 이해와 실태”, 1999.
- [2] 이동수, “석재응용의 이론과 실무”, 한بل문화출판, 2000.
- [3] 강지호, 장명환, “워터젯 시스템을 이용한 석재표면처리장치 개발”, 산업경영시스템 학회지, 제26권, 제3호, pp. 31-38, 2003.
- [4] 강지호, “석재표면가공시 소음과 분진감소와 재해발생 유해물질 제거장치 기술개발에 관한 연구”, 중소기업청,, 2003.
- [5] Husky S-200 Power Unit Operation & Service Manual, FLOW international corporation, 1994
- [6] 강지호, 장명환, “워터젯 수압분사와 화염버너에 의한 석판재 표면처리의 품질특성 비교연구”, 안전경영과학지, 제5권, 제1호, pp. 115-128, 2003.
- [7] 강지호, 조용욱, 박명규, “다구찌 방법을 이용한 석재표면처리공정의 최적표면가공 조건 선정에 관한 연구”, 안전경영과학지, 제5권, 제1호, pp. 103-113, 2003.
- [8] 조용욱, 박명규, “다구찌 방법을 이용한 표면거칠기의 최적조건 결정”, 공업경영학회지 제21권, 제46집, pp. 221-227, 1998.
- [9] 여인옥, 전용원, “화강암의 열팽창 특성에 관한 연구”, 한국자원공학회지, Vol. 29, pp. 263-275, 1992.
- [10] 이형원, 신재섭, “화강암질 석재의 열파괴 특성 연구”, 한국자원공학회지, Vol. 27, pp. 31-42, 1990.
- [11] 조용욱, 박명규, “다구찌 방법을 이용한 표면거칠기의 최적조건 결정”, 공업경영학회지 제21권, 제46집, pp. 221-227, 1998.

## 저 자 소 개

김 득 수 : 호원대학교 화학공학과를 졸업하고, 명지대학교 산업공학과 석사과정에 재학중이며, 현재는 (주)초석석재산업 대표이사로 근무하고 있다.  
주요관심분야는 TQM, 석재기계, 석재료 품질특성 등이다.

서 장 훈 : 명지대학교 산업공학과를 졸업, 동 대학원 산업공학과 석사 취득  
현재는 산업공학 박사과정이다. 주요관심 분야는 e-Business 분석, SCM, 품질공학, Data-Mining, 6sigma

박 명 규 : 한양대학교 산업공학과 졸업. 미국 일리노이 공대에서 산업공학 석사, 건국대학교 대학원 산업공학과에서 박사를 취득하였으며 현재 명지대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 주요관심분야는 TQM, QE, METHODS ENG, 재고물류관리, 확률모형, FORECASTING, 시스템분석 등이다.