

## 석판재용 물다듬 패턴무늬 가공 전용기 개발

김경철<sup>1</sup>, 고민혁<sup>1</sup>, 김종태<sup>1</sup>, 이지수<sup>2</sup>, 유범상<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 대학원 기계시스템공학과, <sup>2</sup>전북대학교 대학원 건축도시공학과 & (주)빛살

<sup>3</sup>전북대학교 기계시스템공학부 & 지능형로봇연구소

## Development of water cropping machine for slab pattern processing

Kyoung-Chul Kim<sup>1</sup>, Min-Hyuc Ko<sup>1</sup>, Jong-Tae Kim<sup>1</sup>, Ji-Su Lee<sup>2</sup>  
and Beom-Sahng Ryuh<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate school, Chonbuk National University

<sup>2</sup>Graduate school, Chonbuk National University & Bissal Company

<sup>3</sup>Division of mechanical System Engineering & Intelligence Robot Center, Chonbuk National  
University

**요약** 본 논문은 석재의 표면 마감 시 다양한 패턴의 무늬를 가공하기 위한 전용기에 대한 연구이다. 기존의 평범한 무늬에 대하여 기능 및 예술성을 부여하여 석판의 활용 범위를 확대 발전시키고자 한다. 이에 본 연구에서는 Water-Jet을 이용하여 석재의 표면 가공 시 다양한 패턴에 대한 적용이 가능한 전용기를 개발하였다. 전용기는 석판을 이송하는 이송 기구, 다양한 패턴 무늬 생성을 위한 노즐 이송 기구, 초고압수를 이용한 멀티노즐 기구, 모션 제어를 위한 제어시스템, 그리고 패턴 무늬 선택을 위한 S/W로 구성되어 있다. 개발되어진 전용기에 대한 다양한 패턴 무늬에 대한 실험을 통하여 성능 평가를 하였다. 이를 통하여 다양한 종류의 패턴 무늬 가공이 가능하며, 가공 오차  $\pm 0.5$  mm의 정밀도를 갖는 전용기를 개발하였다.

**Abstract** This paper is a special-purpose machine studies for processing various patterns on the surface of the stone. We have developed a special-purpose machine that can be applied in various patterns upon the surface treatment of the stone with the water jet. The special-purpose machine is Configured of Transfer mechanism, motion controller, multi-nozzle mechanism, ultra high pressure water control system and S/W. We conducted a performance evaluation experiments of the pattern. We have developed a special-purpose machine with a precision of machining error  $\pm 5$ mm and pattern processing of various types.

**Key Words** : NC control, Processing pattern, Surface treatment of stone, Water jet

### 1. 서론

주거 건축 환경이 고급화됨에 따라 친환경 고급석재의 수요가 늘어가고 있으며, 이미 대중화된 화강 석재에 고객의 요구에 따라 맞춤형 무늬가 필요하게 되었다. 이제 건축은 예술이며 국가의 중요한 자산으로 문화적 가치가 부여된 소중한 자산이다. 이를 위해서 석재는 자연 그대

로의 상태를 인간적인 측면에서 가장 가깝게 친숙한 건축자재 중 하나로 널리 사용되고 있다. 그러나 자연석을 채취하고 가공함에 있어서는 상당히 어려운 공정을 거쳐야만 한다. 즉, 인간의 욕구에 충족시키기 위해서 석재는 여러 단계를 거쳐 최종 고객에게 도착하게 된다. Fig. 1은 다양한 석재의 표면 마감 방법을 보여주고 있다[1].

\*Corresponding Author : Beom-Sahng Ryuh(Chonbuk National Univ.)

Tel: +82-63-270-2480 email: ryuhbs@jbnu.ac.kr

Received June 04, 2013

Revised (1st July 15, 2013, 2nd July 18, 2013)

Accepted September 6, 2013



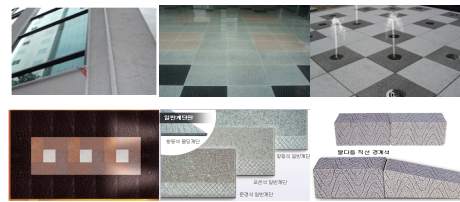
[Fig. 1] Examples of manufacture Stone Surface

쇠메를 사용하여 석재 표면의 돌출된 부분을 깨어내는 흑두기 방법, 흑두기 면을 정으로 편평하게 고르는 정다듬 방법, 도두락 망치로 두드려 거친 면의 독특한 아름다움을 얻을 수 있는 도두락 다듬 방법, 표면을 버너로 구워 요철을 주는 버너구이 마감 방법, 잔다듬한 면에 물이나 모래를 끼얹어 숫돌로 가는 물갈기 방법, 금속재질의 작은 입자를 이용하여 표면에 요철을 주는 Short Ball 방법, 그리고 고압수를 이용하여 석재표면을 가공하는 물다듬 방법이 있다[2].

기존의 석재 표면 마감 방법은 대부분 인력에 의해 진행되어 다양한 무늬 가공이 불가능 했으며, 개별 석판들이 조립될 때 무늬들의 상호 맞물림 부분에서 일치되지 못하는 현상이 발생 했었다. 따라서 보다 혁신적인 석판재의 표면 가공 기술 및 자동화 제조시스템이 요구되어 왔다. 이에 본 연구에서는 다양한 석판 무늬에 대한 대응이 가능하고, 이음매 부분의 무늬 일치성과 자동화 생산을 위한 시스템을 개발하고자 한다.

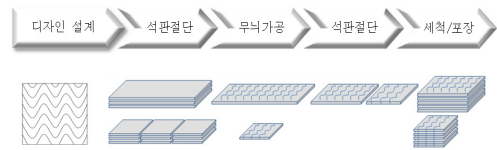
## 2. 빗살무늬 적용 및 가공 무늬 개발

빗살무늬는 다양한 곳에 적용되어지고 있으며, Fig. 2는 빗살무늬 석판 제품이 적용되어지는 예를 보여주고 있다[2].



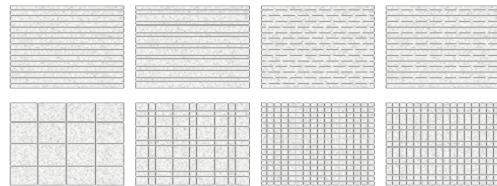
[Fig. 2] Slate application examples

빗살무늬 석판 제조공정은 Fig. 3과 같이 절단 되어진 석판에 고객의 요구에 따라 석판 재질 및 가공무늬를 적용하여 가공하게 된다[3].



[Fig. 3] Slab processing step

기존의 물다듬 가공 무늬는 Fig. 4와 같이 규격화된 직선 및 사선 무늬가 대부분이었다.



[Fig. 4] Existing processing pattern

기존의 가공 무늬 이외에 Fig. 5와 같이 미끄럼 방지가 가능한 무늬와 그 외에 다양한 형태의 가공 무늬를 개발하였다.



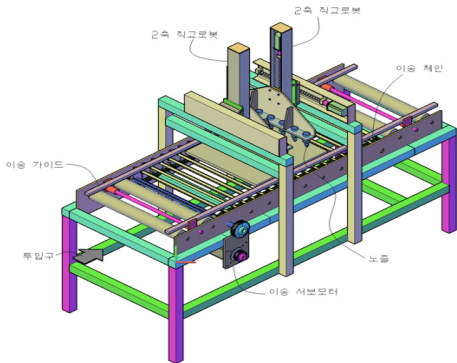
[Fig. 5] Anti-skid processing pattern

또한 수요자의 요구에 따라 다양한 곡선 형태의 무늬 또한 가공이 가능하도록 하였다.

## 3. 물다듬 전용기의 구성

물다듬 전용기는 Fig. 6과 같이 석판을 이송하는 이송기구, 다양한 패턴 무늬 생성을 위한 노즐 이송 기구, 초

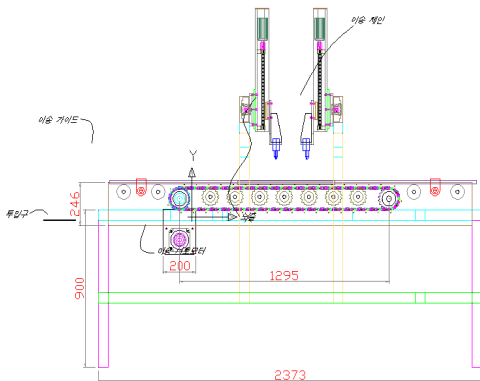
고압수를 이용한 멀티노즐 기구, 모션 제어를 위한 제어 시스템, 그리고 패턴 무늬 선택을 위한 S/W로 구성되어 있다.



[Fig. 6] Stone processing dedicated machines configuration

### 3.1 석판재용 물다듬 전용기 기구부

석판재용 물다듬 전용기의 기구는 Fig. 7과 같이 석판 투입구, 이송 가이드, 이송컨베이어 그리고 멀티 노즐로 구성되어 있다.



[Fig. 7] Drawing of Mechanism

석판재가 진입시 최대한 정위치를 유지하면서 진입할 수 있도록 Fig. 8과 같이 가변형 가이드 롤러를 설치하여 다양한 크기에 대한 적용이 가능하도록 하였다.



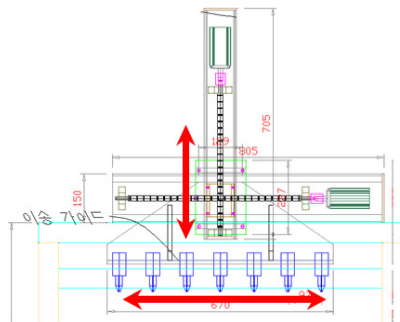
[Fig. 8] Adjustable guide roll

석판 이송은 Fig. 9와 같이 석판의 무게와 초고압수 사용 시 이송 기구부의 손상을 방지하기 위해 금속재질의 컨베이어로 제작하였으며, 서보모터를 이용하여 석(石)판을 이송하였다[4].



[Fig. 9] Slate transfer conveyor & motor

다양한 패턴 무늬 생성을 위한 노즐 이송 기구는 Fig. 10과 같이 멀티 노즐을 적용하였으며, 노즐의 이송은 패턴 무늬 생성을 정확한 움직임과 다양한 속도 변화가 가능하도록 서보모터와 Ball -Screw를 이용하여 노즐이 좌우로 운동 할 수 있도록 제작하였다.



[Fig. 10] Nozzle assembly drawings

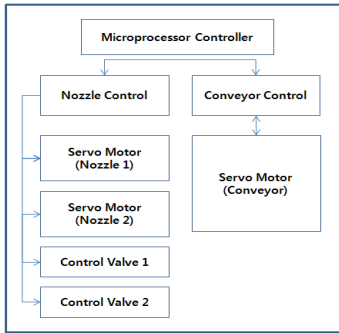
그리고 다양한 크기의 석(石)판재 적용을 위해 노즐의 위치 조절이 가능하도록 하였다[5]. 또한 다양한 패턴 무늬 생성이 가능하도록 노즐을 2열로 배열하였으며, 각 노즐은 솔레노이드 밸브를 적용하여 패턴 무늬에 따라 제어할 수 있도록 하였다. 솔레노이드 밸브는 연속적인 무늬 형상에 대해서는 석판 가공 전후로 On/Off 되고, 비연속적인 무늬 형상에 대해서는 무늬 패턴에 따라 On/off 제어 된다. Fig. 11은 실제 제작되어진 전용기이다.



[Fig. 11] View of production mechanism

### 3.2 석판재용 물다듬 전용기 제어시스템

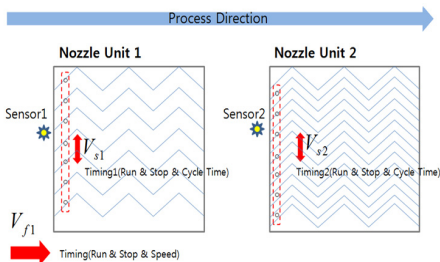
다양한 패턴 무늬 생성을 위한 전용기의 모션을 제어하기 위해 Fig. 12와 같이 석판 이송부에 서보모터 1개와 2열의 멀티 노즐을 좌/우, 상/하 이동하기 위한 서보모터 4개로 구성하였다.



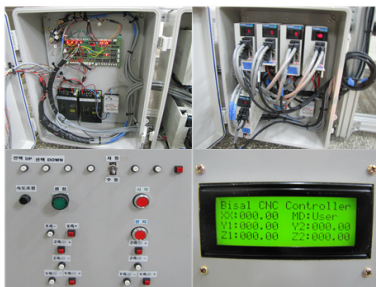
[Fig. 12] Control Concept

전용기의 S/W는 노즐의 좌우 이송 속도와 컨베이어의 이송 속도를 Fig. 13과 같이 가공 무늬에 따라 변속하게 하였다. 패턴 무늬별 속도를 계산하여 각각의 패턴 무늬에 대한 변수 값을 도출하였다.

메인 제어기는 Fig. 14와 같이 ARM 프로세서를 사용하여 작업자의 편리성을 고려하여 다양한 패턴 무늬를 미리 저장하여 간단한 제어 조작으로도 작업이 가능하도록 하였다.



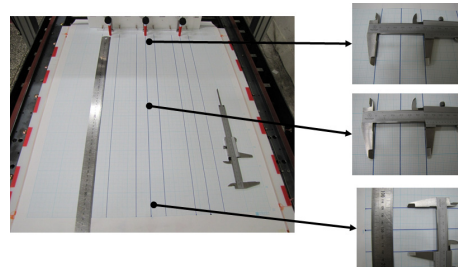
[Fig. 13] Speed concept to handle



[Fig. 14] Dedicated Controller

### 4. 물다듬 전용기의 성능평가

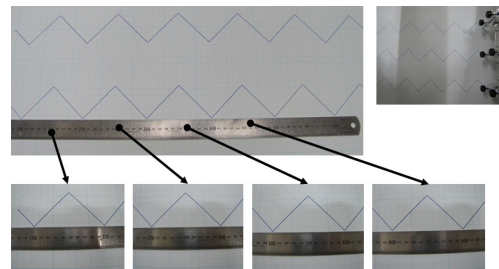
물다듬 전용기에 대한 성능 평가를 위해서 노즐 부분에 팬을 장착하고 석판 대신 모눈종이를 이용하여 실시하였다. 이는 석판제의 무늬의 경우에는 일반적으로 높은 정밀도를 요구하지 않기 때문에 모눈종이와 측정공구를 이용하여 측정하였다 Fig. 15는 직진성에 대한 평가 이다 [6].



[Fig. 15] Test of Processing linear pattern

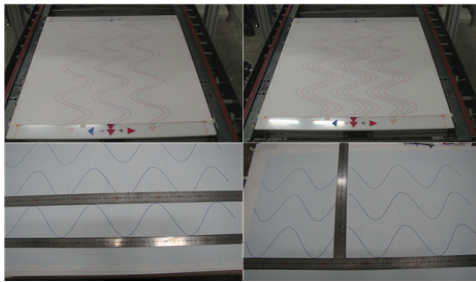
60mm의 피치에 대하여 10회의 반복 실험 측정 결과 전 반부 59.5~60.3mm, 중반부 59.5~60.3mm, 후반부 59.5~60.3mm로 측정되어 졌다. 이는 컨베이어의 좌우측 오차가 가공 오차를 발생 시킨 것으로 판단되어 진다. 매회 측정 시 피치가 동일하게 측정되어 직진성에는 문제가 없다는 것을 확인할 수 있었다.

다음은 산 무늬에 대한 평가를 Fig. 16과 같이 실시하였다. 측정 결과 육안으로는 충분히 무늬가 표현 되었으며, 100mm의 피치에 대하여 10회의 반복 실험 측정 결과 좌측 두 번째 골과 골 사이의 거리는 99.6~100mm, 세 번째 99.6~100mm, 네 번째 99.6~100mm로 측정 되었다. 직진성 평가와 유사하게 컨베이어의 오차로 판단되어지며, 매회 측정 시 동일한 피치가 측정되어졌다.



[Fig. 16] Test of Processing mountain pattern

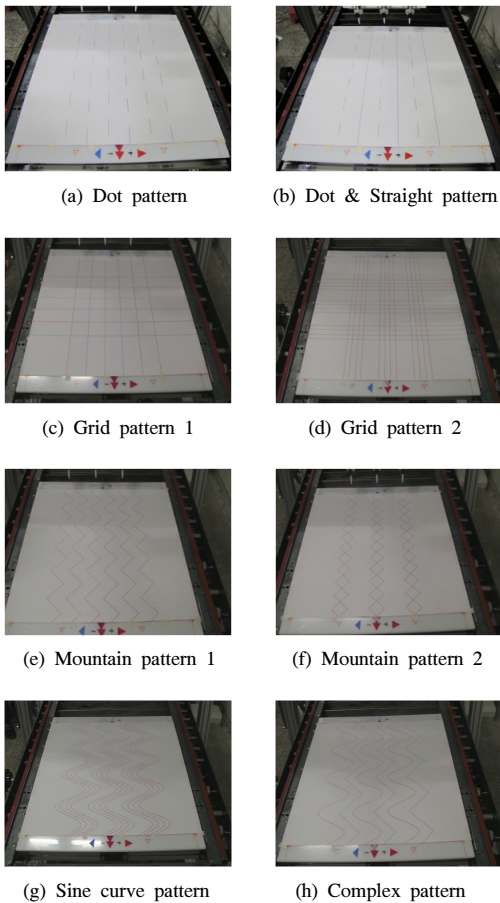
다음은 곡선 무늬에 대한 평가를 실시하였다. 사인파 형태의 패턴에 대해서 Fig. 17과 같이 실시하였다[7].



[Fig. 17] Test of Processing curve pattern

실험 결과 육안으로는 곡선의 형태가 충분히 표현 되었으며, 곡선의 간격과 폭에 대한 측정값도 대회 측정 시 동일한 값을 얻을 수 있었다.

마지막으로 기존의 패턴 무늬와 미끄럼 방지를 위한 산 무늬 패턴 그리고 벽화 무늬, 복합 무늬 패턴에 대한 실험을 실시하였다. Fig. 18은 패턴 무늬의 실험 결과 그림이다.



[Fig. 18] Test of Processing various patterns

## 5. 결론

본 연구에서는 건축 환경의 고급화로 다양한 무늬를 갖는 석재 수요의 증가에 대해서 다양한 석판 무늬 가공이 가능한 전용 가공기계를 개발 하였다.

석판재용 물다듬 무늬 가공을 위해 가변형 가이드 롤러를 장착하여 석판의 사이즈에 따라 적용이 가능한 기구를 개발하였으며, 다양한 무늬 생성을 위한 노즐 모션 알고리즘을 개발하였다. 이를 통하여 기존 가공시스템에서는 가공이 불가능한 다양한 무늬에 대하여 가공이 가능해졌으며, 무늬 패턴별 정량적인 제어가 가능하도록 하였다.

개발되어진 물다듬 전용기는 다양한 패턴 무늬에 대한 성능 평가를 통하여 육안으로 그 오차를 판별할 수 없을 정도의 정밀도를 만족하였다.

본 연구를 통하여 다양한 패턴 무늬에 대한 수요에 대한 대응이 가능할 것으로 판단되어진다.

## References

- [1] J. H. Kang, M. H. Chang, "Development of the stone surface process equipment by Water Jet System" J. of KSIE, Vol. 26, No. 3, pp. 31-38, September, 2003.
- [2] J. H. Kang, D. P. Hong, "Development of the multi axis whetstone system in the stone polishing process for the work environment improvement" Journal of the Korea safety management & Science, Vol.6, No.4 pp. 171-181, 2004.
- [3] J. H. Kang, Y.W. Cho, M. K. Park, "The Optimal Parameter design of the Stone Surface Process Using the Taguchi Method", Journal of the Korea safety management & Science, Vol.5, No.1, pp. 103-113, 2003.
- [4] B. M. Choi, S. K. Hong, B. S. Ryuh, S. M. Park "Development of PC-NC Water Jet Cutting System and Cutting of Titanium" KSPE, Vol.18, No.3, pp. 55-60, 2001
- [5] S. J. each, J. L. Jartman, "Hypothesis for the Mechanism of Rock Failure under Impact" 4<sup>th</sup> Symposium on Rock Mechanics Pennsylvania, pp. 221-228. 1961.
- [6] Phadke Madhav S., "Quality Engineering Using Robust Design", Prentice Hall PTR, 1989
- [7] Fowlkes, W. Y. and Creveling, C. M., "Engineering Methods for Robust Product Design", pp. 33-88, Addison-Wesley Publishing Company, 1995.

**김 경 철(Kyoung-chul Kim)**

[정회원]



- 2007년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 2007년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 정밀기계공학과 박사과정

<관심분야>

로보틱스, 모바일 로봇, 자동화 시스템,

**이 지 수(Ji-Su Lee)**

[정회원]



- 2002년 2월 : 원광대학교 건축공학과 (공학사)
- 2004년 8월 : 전북대학교 환경계획학과 (공학석사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 건축도시공학과 박사과정
- 2008년 3월 ~ 현재 : (주) 빛살 대표이사

<관심분야>

건축 디자인, 석판 무늬 디자인, 경영정보

**고 민 혁(Min-Hyuc Ko)**

[정회원]



- 1997년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 정밀기계공학과 박사과정

<관심분야>

로보틱스, 로봇 구동플랫폼, 비전 시스템

**유 범 상(Beom-Sahng Ryuh)**

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 1989년 5월 : Univ. of Purdue 기계공학 (공학박사)
- 1993년 9월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학부 교수
- 2006년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 지능형 로봇연구소 소장

<관심분야>

로보틱스, 농업용로봇, 자동차생산자동화, 공장자동화

**김 종 태(Jong-Tae Kim)**

[정회원]



- 1999년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 2005년 2월 : 전북대학교 메카트로닉스공학과 (공학석사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 정밀기계공학과 박사과정

<관심분야>

반도체 공정 자동화, 로보틱스