

압력용기 노즐 용접부 절삭 가우징 장치 개발

손성민^{1*}

¹울산과학기술대학교 기계학부

Development of Machining System for Gouging of Nozzle Welded Area

Seong-Min Son^{1*}

¹School of Mechanical Engineering, Ulsan College

요약 후판의 맞대기 용접 시 용접부의 이면에 흠을 파는 가우징 작업은 숙련된 용접 작업과 그라인딩 작업을 필요로 한다. 기존의 가우징은 산소 아크 용접기를 이용하여 제거하고자 하는 부분을 용융시킨 뒤 고압 산소로 불어내는 방식으로 제거된 분진이 작업환경을 열악하게 하며 제거된 부분을 다시 그라인딩 작업으로 평탄화하는 후처리 작업이 필요하기 때문에 생산성을 크게 떨어뜨리고 있다. 이를 절삭에 의한 기계적 제거 작업으로 바꾸어 기존 용접법에 의한 가우징 작업의 단점을 보완하고 생산성을 향상시키고자 절삭 가우징 장치를 개발하고 실험하였다. 개발된 절삭 가우징 장치는 분당 재료제거량이 13,565 mm³/min으로 기존 용접법에 의한 가우징에 비해 작업효율이 약 3배 개선되었다. 또한 가공인건비가 1/3 수준으로 감소되는 것을 기대할 수 있으며 소음과 분진으로 인한 작업환경문제가 크게 개선됨을 확인하였다.

Abstract Gouging is defined as the removal of weld metal and base metal from the opposite of a partially welded joint to facilitate complete joint penetration. Since the work by current method needs skillful welding and grinding, there is a limit on the increase of operation efficiency. Noise and dust from the weld gouging also deteriorate the work place and cause environmental problems. In this study, the gouging work by cutting method is proposed to overcome the defects from weld gouging such as low productivity, severe noise, dense dust, and so on. The developed cutting gouging system removes material as much as 13,565 mm³/min, and enlarge the labor productivity as three times compared to that by weld gouging method.

Key Words : Gouging, Cutting, Welding

1. 서론

1.1 용접부 가우징

가우징(Gouging)은 후판을 맞대기 용접할 때 용접부의 이면(裏面)에 흠을 파서 이면 용접 시 이미 용착된 부분과 완전히 융합될 수 있도록 해주는 작업이다. 작업의 내용을 고려할 경우 백치핑(Back Chipping)이 더 정확하나 용접기에 의한 가우징(Gouging) 또는 백가우징(Back Gouging)이 일반적인 용어로 사용되고 있다. 따라서 여기서는 용접에 의한 백치핑 작업을 가우징이라 하고 이와 대응되는 절삭에 의한 백치핑을 절삭 가우징으로 정

의하여 설명한다.

기존의 일반적인 백치핑 작업은 산소 아크 용접기를 이용하여 제거하고자 하는 부분을 용융시킨 뒤 고압 산소로 불어내는 방식이다. 현장에서는 가우징 작업에 가스 절단에 이용되는 용접장치를 그대로 사용하기 때문에 가우징은 용접절단 작업의 일종으로 받아들여지고 있다.

용접기를 이용한 가우징 작업은 높은 열로 흠을 만들 부분을 녹인 다음 고압의 산소로 불어 내기 때문에 녹아서 제거되는 분진에 의해 작업환경이 매우 열악하며, 제거된 부분을 다시 그라인딩 작업으로 평탄화하는 후작업이 필요하기 때문에 생산성을 크게 떨어뜨리고 있다. 또

*교신저자 : 손성민(semson@mail.uc.ac.kr)

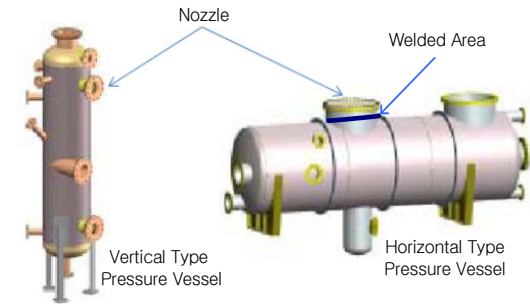
접수일 09년 07월 01일

수정일 (1차 09년 09월 30일, 2차 09년 10월 09일)

게재확정일 09년 10월 14일

한, 가우징은 용접과 같이 높은 열을 이용하는 작업으로 제품에 열영향부를 발생시키는 단점도 갖고 있다. 가우징 절단높이가 낮을 경우 모재의 표면이 오스테나이트화 온도 이상으로 가열되어 모재부가 손상되기 때문에 절단높이를 3.5 mm 이상 확보해야 하며 열에 의한 결함의 발생을 억제하기 위해 예열, 후열, 가우징 높이 등의 작업기준을 엄격히 따라야 한다[1,2].

본 연구에서는 용접기를 이용하는 가우징 작업을 절삭에 의한 기계적 제거 작업으로 바꾸어 기존 가우징 작업의 단점을 보완하고 생산성을 향상시키고자 수행되었는데 이 방법은 아직 학계에 보고된 바가 없다. 특히, 그림 1에 보이는 예와 같이 가우징 작업이 많이 필요하고 난이도가 높은 압력용기 노즐 용접부분의 가우징 작업을 절삭으로 대체하는 압력용기의 노즐부를 그 응용대상으로 하였다.



[그림 1] 압력용기의 노즐

1.2 용접 및 절삭에 의한 가우징 작업 비교

용접법에 의한 가우징 작업은 재료를 용융된 상태에서 붙여내는 작업으로 압축공기로 붙여낼 때 모재에서 분리된 흑연 및 금속가루에 작업자가 그대로 노출되어 용접 작업 중에서도 분진이 가장 많이 발생하는 작업으로 알려져 있다. 또한, 분진발생과 더불어 압축공기 방출에 따른 소음발생도 작업환경을 더욱 열악하게 만든다. 이러한 분진과 소음에 의한 피해는 가우징 후작업인 그라인딩 작업에서도 이어진다. 용접법을 이용한 가우징 작업 부위는 평탄하지 못하기 때문에 그라인딩 작업을 필요로 한다.

한편, 작업의 효율성에 있어서도 용접법을 이용한 가우징법은 몇 가지 단점을 갖고 있다. 우선, 용접기를 이용하기 때문에 숙련된 인력이 필요하며 고열을 이용하여 재료를 녹이기 때문에 모재에 열영향부를 발생시켜 불량을 유발할 수 있다. 그리고 앞서 서술한 바와 같이 그라인딩에 의한 후작업이 필요하기 때문에 작업시간이 길어지는 단점이 있다.

가우징 작업을 절삭으로 수행할 경우 분진 및 소음발생을 크게 줄일 수 있고 용접 후 그라인딩으로 이어지는 현재의 2단계 작업을 한 단계로 줄일 수 있을 뿐만 아니라 작업의 숙련을 크게 요구하지 않기 때문에 인건비 절감에도 기여할 수 있다. 단점으로는 기존의 용접법에 의한 가우징은 용접에 사용되는 용접기를 그대로 이용할 수 있는데 반해 절삭법은 새로운 장비의 추가에 따른 비용발생이 있다.

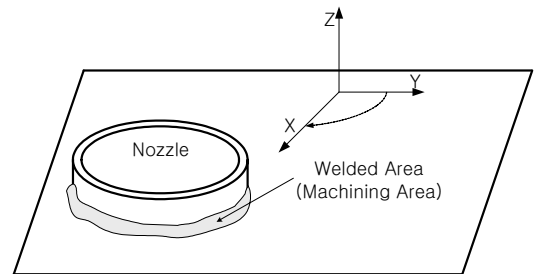
[표 1] 용접 및 절삭 가우징 작업의 장단점 비교

| | 가우징 방법 | |
|----|--|---|
| | 용접 | 절삭 |
| 장점 | <ul style="list-style-type: none"> 기존의 용접절단 장비 활용 | <ul style="list-style-type: none"> 분진 발생 없음 소음문제 개선 작업 단순화 생산성 향상효과 |
| 단점 | <ul style="list-style-type: none"> 분진, 소음 발생 열영향부에 의한 불량 유발 2단계 그라인딩 작업에 의한 생산율향상의 한계 숙련 인력 필요 | <ul style="list-style-type: none"> 절삭작업에 의한 장비 구입 및 소모성 재료(공구, 절삭유 등) 비용발생 |

2. 절삭 가우징

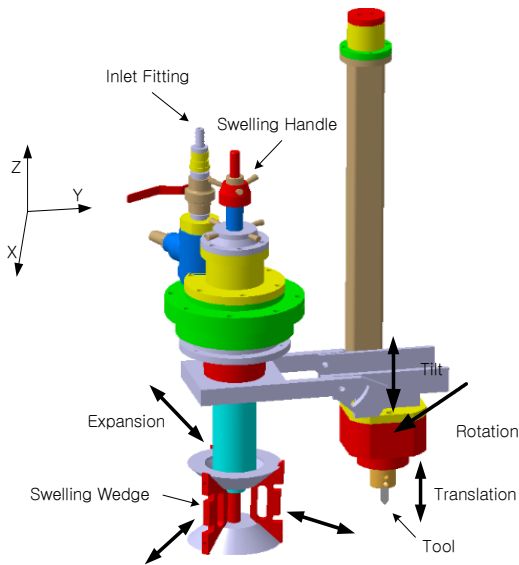
2.1 노즐 용접부 절삭 가우징 장치

압력용기 노즐 용접부를 절삭작업으로 가우징하기 위해서는 그림 2에 보이는 것과 같이 Z축을 중심으로 원운동과 Z축 방향 직선 조정 및 X축 또는 Y축 방향 직선 조정 운동이 필요하다. Z축 방향의 직선운동은 가공깊이의 결정에 사용되고 X축 또는 Y축 방향 직선운동은 가공영역을 결정하는 데 사용된다. 그리고 Z축을 중심으로 하는 회전운동이 원형단면 노즐용접부의 주절삭방향 운동이 된다.

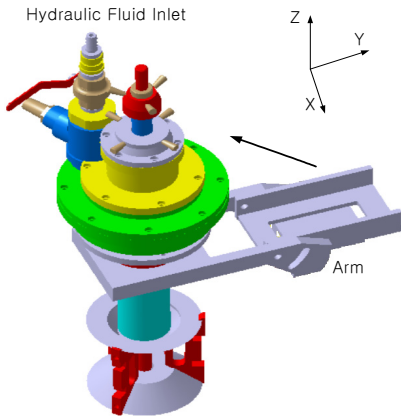


[그림 2] 압력용기의 노즐

한편, 가우징대상 부위의 절삭가공에 의해 큰 절삭저항이 발생하는데 이를 극복하고 정확도 높은 가공을 가능하게 하기 위해서는 절삭가공장치가 가공부위 부근에 견고하게 고정될 수 있어야 한다. 절삭가공장치가 고정될 수 있는 부분은 노즐 또는 압력용기의 벽면이 이용될 수 있는데 압력용기의 벽면은 곡률반경이 커서 마그네틱 장치, 흡착을 이용하여야 하고 노즐의 벽면을 이용하여 고정할 경우는 용도에 따라 노즐의 직경이 달라지기 때문에 이에 대응할 수 있어야 한다.



[그림 3] 절삭 가우징 장비의 기구부 운동

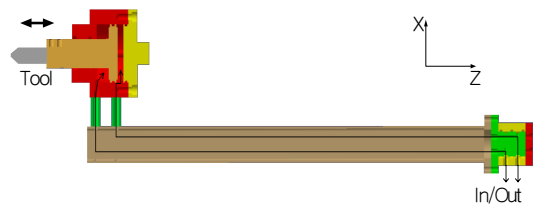


[그림 4] 절삭 가우징 장비의 회전 운동

절삭 가우징 장치의 운동은 크게 절삭운동과 가공영역과 가공깊이를 결정하는 직선 및 각도 조정운동, 그리고 절삭장치를 고정하기 위한 운동이 필요하다. 그림 3은 본 과제를 통해 설계된 절삭 가우징 장치의 개략도이다. 설계된 가우징 장비는 공구에 가공력을 추가하는 회전장치와 절삭깊이방향 운동을 조절하는 장치, 그리고 장비전체를 고정하는 장치 등 크게 3부분이 핵심장치로 포함되어 있다.

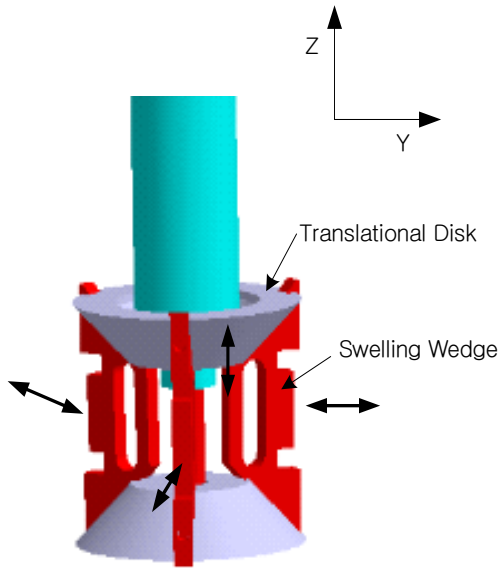
부착된 공구에 회전력을 발생시키는 부분은 그림 4와 같다. 인렛 핏팅(Inlet Fitting)으로 유입된 압축공기가 본체 내부에 있는 블레이드에 압력을 가하여 절삭공구를 고정하고 있는 공구부의 암(Arm)을 회전시켜 절삭운동을 수행한다. 암은 관절을 갖고 있어 공구의 날끝이 절삭할 부분에 정확하게 위치될 수 있도록 기울일 수 있다. 암에 부착된 절삭공구 고정부에는 안내(Guide)기구가 있어 반경방향의 직선 조정 운동이 가능하며, 필요에 따라 가공의 진행과 더불어 반경방향의 자동 이송(Feeding)이 가능하다.

가공깊이를 결정하는 Z축 방향 직선 조정운동은 그림 5에 보이는 것과 같이 XZ(YZ)평면상의 곡선을 추종하며 가공할 수 있도록 하기 위해 압력 조절장치를 구비하고 실린더형의 고정장치에 공구를 설치하였다. 곡선의 형상 정보를 계산한 후 이에 대응하여 곡선을 추종하도록 하기 위해서는 수치제어가 필요하다. 그러나 수치제어에 의해 곡선을 추종할 수 있도록 제작할 경우 장비가 복잡해지고 장비의 가격이 크게 증가하기 때문에 경제성을 고려하여 압력 조절에 의해 높낮이를 조절하는 방법을 선택하였다.



[그림 5] 절삭 가우징 장비의 가공깊이 방향 운동

그림 6은 절삭 가우징장치를 용접된 노즐의 벽면에 고정될 수 있도록 하는 신축운동 기구를 나타낸다. 스웰링(Swelling) 핸들에 의해 스웰링 웨지가 반경방향으로 신축하여 원통형 노즐의 내부벽면을 가압해 절삭 가우징 장비를 고정시킨다. 스웰링 웨지의 팽창에는 한계가 있어 고정될 수 있는 노즐 직경이 제한되므로 스웰링 웨지에 스틸바(Steel Bar)를 부착하여 고정 가능한 노즐 직경을 확대할 수 있다.



[그림 6] 절삭 가우징 장치의 고정기구

2.2 용접부 절삭 가우징 방법

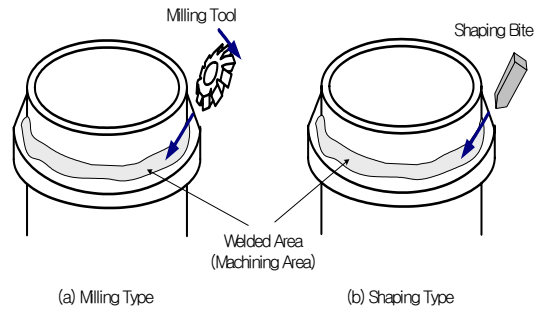
노즐 용접부의 절삭 가우징 작업에 일반적으로 적용되고 있는 단인공구를 이용한 선삭과 다인공구를 이용한 밀링작업이 비교·검토하여 표 2와 같이 정리하고 가공효율, 제작비용 등을 고려하여 선삭 가우징법을 선택하였다. 그림 7의 (a)에 보이는 것과 같이 노즐 용접부를 밀링 작업으로 가우징 할 경우, 공구를 고속으로 회전시켜야 하기 때문에 구조가 복잡해지고 절삭방향이 공구회전축과 직교한 상태에서 원주를 따라 움직이므로 가공면이 다소 거칠 수 있다는 단점이 있으나 날의 수가 많기 때문에 경도가 높아진 열영향부를 절삭하는데 있어 비절삭저항, 공구마모 등에 대한 부담이 줄어드는 장점이 있다. 한편, 그림 7의 (b)와 같이 선삭에 의한 가우징은 공구회전이 없어 밀링장치에 비해 구조를 단순화 할 수 있고 공구 제작이 쉬우며 날끝이 항상 노즐 외경의 접선방향을 향하기 때문에 부드러운 가공면을 기대할 수 있는 장점이 있다. 그러나 절삭과정이 하나의 날에 의존하기 때문에 날당 절삭저항이 밀링작업에 비해 현저히 커진다는 단점이 있다 [3].

밀링 및 선삭작업에 의한 가우징법의 절삭저항을 비교하여 그림 8로 나타내었다. 밀링의 경우 날당 절삭저항이 선삭의 경우에 비해 현저하게 작고 공구 자체의 회전수 증가에 의해 가공깊이를 크게 할 수 있다. 반대로 선삭은 날당 절삭저항이 크기 때문에 절삭효율을 향상시키기 위해서는 절삭장비 암(Arm)의 회전수를 높여야 하는데 암의 중량이 크기 때문에 회전수의 증가에는 한계가 있다.

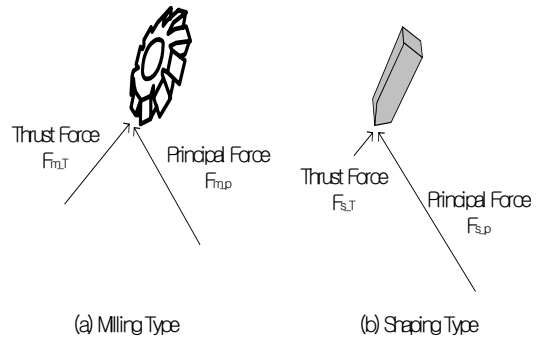
절삭저항의 분석에서는 밀링 가우징의 경우, 하향절삭은 경도가 커진 용접부위의 가공에 대한 부담이 크기 때문에 상향절삭이 더 적합하다. 그러나 선삭에서 배분력이 주분력의 3/1이하에 불과한 반면에 상향밀링 가우징에서는 어프로치각에 따라 배분력이 주분력과 비슷한 수준으로 커진다. 이 힘은 가우징 장비의 중량과 동일한 방향으로 작용하여 장비진체를 노즐부 내부 벽면에 가압 고정하는 스웰링 웨지에 영향을 주게 되므로 가공의 불안정을 유도할 수 있다. 그러나 선삭 가우징의 경우는 공구가 노즐부의 원주를 따라 움직이기 때문에 배분력이 밀링에 비해 적어 스웰링 웨지의 고정력에 큰 영향을 주지 않는다.

[표 2] 밀링 및 선삭 가우징 작업의 장단점 비교

| | 절삭 방법 | |
|----|---|---|
| | 밀링 | 선삭 |
| 장점 | <ul style="list-style-type: none"> • 날당 절삭저항이 작음 • 공구 마모가 적음 | <ul style="list-style-type: none"> • 공구부의 구조가 간단 • 평탄한 가공면 • 공구 제작이 쉬움 |
| 단점 | <ul style="list-style-type: none"> • 공구부의 구조가 복잡 • 가공면이 거칠 • 고속회전에 대한 부담 • 공구 제작이 어려움 | <ul style="list-style-type: none"> • 날당 절삭력이 커서 밀링에 비해 큰 동력 필요 • 공구 마모가 큼 |



[그림 7] 밀링 및 선삭에 의한 가우징법



[그림 8] 밀링 및 선삭 가우징의 절삭저항

3. 실험 결과

3.1 절삭 가우징의 가공효율

그림 9와 같이 설계·제작된 절삭 가우징 장비를 이용하여 주철 재료압력용기의 용접된 노즐(Nozzle)부를 모형화한 구조에 가공실험하여 결과를 표 3으로 정리하였다. 가공부위의 직경은 320 mm이며 공구재료는 고속강, 가공속도는 약 14 m/min이다.



[그림 9] 선삭 가우징 실험 장치



(a) 절삭 가우징 전



(b) 절삭 가우징 후

[그림 10] 노즐 용접부 절삭 가우징

[표 3] 절삭 가우징 개발 목표치와 실험 결과

| 평가항목 | 단위 | 목표치 | 결과치 |
|--------------|----------------------|----------|-----------|
| 1. 가공방법 | - | 밀링 | 선삭 |
| 2. 공구회전수 | rpm | Max. 600 | - |
| 3. 가공속도 | mm/s | - | 234.45 |
| 4. 가공량 | mm ³ | 100,000 | 406,944 |
| 5. 가공효율 | mm ³ /min | - | 13,565 |
| 6. 최대 가공력 | N | Max. 300 | Max. 1900 |
| 7. 고정가능 노즐직경 | mm | - | 280~760 |

절삭 가우징 장비 전체를 고정하는 스웰링 웨지의 고정강도는 절삭 가우징 시 저항력에 견딜 수 있을 만큼 충분하였고 가공력은 최대 1.9 KN이다. 그림 10의 (a)에 보이는 노즐 용접부가 (b)와 같이 절삭 가우징되는데 약 30분이 소요되었는데 20분은 용접 시 열에 의한 열경화로 단단해진 층을 제거하는 데 소요되었고, 10분간 깊이 방향의 정상적인 절삭가공이 진행되어 최종 가공량이 약 $4.06 \times 10^3 \text{ m}^3$ 이다. 공구의 절삭속도가 234.5 mm/s로 분당 가공량은 약 $13.6 \times 10^3 \text{ mm}^3/\text{min}$ 이 되는데, 이 값은 밀링 방식의 가우징 절삭가공에서 계획했던 제거량이 공구회전수 최대 600rpm에서 $3.3 \times 10^3 \text{ mm}^3/\text{min}$ 인 것에 비해 약 4배 가량의 우위를 보인다. 한편, 가공효율면에서 기존의 용접법에 의한 가우징에 비해 약 3배 정도 향상되었다.

3.2 절삭법에 의한 가우징 작업 개선효과

기존의 용접법에 의해 직경 320 mm의 노즐 용접부를 가우징 할 경우 모재를 녹여 고압의 산소로 불어내는 작업에 약 1.25 시간이 소요된다. 그리고 후처리 작업인 그라인딩을 이용한 작업에 약 0.83 시간이 걸리기 때문에 전체적으로 약 2.08시간이 소요된다. 동일한 작업을 개발된 절삭 가우징 장치로 실시할 경우 약 0.5 시간이 소요된다.

[표 4] 용접 및 절삭 가우징 작업 노임 비교

| | 기존방식 | | 개선방식 |
|---------------|-----------|-----------|--------|
| | 숙련 용접사 1명 | 숙련 사상공 1명 | 일반 1명 |
| 시간당 인건비 (₩) | 18,750 | 12,500 | 12,500 |
| 평균작업속도 (m/Hr) | 0.8 | 1.2 | - |
| 전체 작업시간 (Hr) | 1.25 | 0.83 | 0.5 |
| 작업 준비시간 (Hr) | - | - | 0.2 |
| 인건비 (₩/Hr) | 23,437 | 10,375 | 8,750 |
| 총 인건비 (₩) | | 33,812 | 8,750 |

가우징 작업 전 장비설치에 소요되는 시간이 달라 용접법과 절삭법을 직접 비교할 수는 없으나 이를 감안하더라도 약 3배의 생산성 향상을 기대할 수 있다. 이 작업에 대한 노무비용을 표 4와 같이 비교하였다.

한편, 용접에 의한 가우징은 숙련된 용접사와 사상공이 필요하기 때문에 인건비뿐만 아니라 인력수급의 문제도 발생할 수 있지만 절삭에 의한 가우징은 이러한 문제 발생의 염려가 없으며 소음, 분진 등에 의한 열악한 작업 환경문제도 크게 개선되었음을 확인하였다.

4. 결론

압력용기 노즐부 후판 용접 시에 필요한 가우징 작업을 기존의 산소 아크 용접기를 이용하는 방법대신 절삭 가우징이 가능한 장치를 개발하는 과제를 수행하여 다음과 같이 정리한다.

- 1) 주절삭방향 회전운동, 절삭깊이방향 직선 조정운동, 다양한 직경의 노즐에 절삭장비 고정이 가능한 기구 등을 포함하는 절삭 가우징 장비를 개발하였다.
- 2) 절삭깊이방향 가압절삭에 의해 곡면추종절삭이 가능한 장치를 설계·제작하였다.
- 3) 개발된 절삭 가우징법의 가공속도는 234 mm/s, 단위 시간당 가공량 13,565 mm³/min, 최대 가공력 1.9 KN 이다.
- 4) 동일작업에 대해 개발된 절삭 가우징법은 기존 용접 가우징법에 비해 가공효율은 약 3배 증가하고, 가공인건비는 1/3 이하로 감소되었고, 소음 및 분진에 의한 현재의 열악한 작업환경의 개선을 기대할 수 있다.

향후, 개발된 장비의 상용화를 위해서는 절삭 가우징 작업의 간편화와 높낮이 차가 큰 곡면에 대한 가공의 정확성 향상, 그리고 작업자를 위한 안전장치 등에 관한 연구가 추가 될 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 신동진, 장태원, 우완측 “양면 용접에서 자동 이면가우징 방법에 대한 연구”, 대학용접·접합학회, 2000년 제 2권, pp. 70-72, 2000.
- [2] 하준욱, 양병일, 박성진, 이기학 “가우징 높이에 따른 구조물의 열영향 평가”, 대한기계학회 춘계학술대회

2001년 제1권 제1호, pp.477-482, 2001.

- [3] MH Lee, DB Kang, SM Son, JH Ahn “Investigation of cutting characteristics for worm machining on automatic lathe - Comparison of planetary milling and side milling”, Journal of Mechanical Science and Technology, 22(2008), pp.2454-2463, 2008.

손 성 민(Seong-Min Son)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 지능기공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 부산대학교 지능기공학과 (공학박사)
- 2004년 11월 ~ 2007년 2월 : NUS 전임연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술 대학 디지털기계학부 교수

<관심분야>

특수가공, 정밀가공, 생산공학