

공리적 접근을 통한 자동 가스절단기의 개발

신 창 호* · 정 진 태†

(2002년 1월 16일 접수, 2002년 7월 3일 심사완료)

Development of an Automatic Pipe-cutting Machine by Axiomatic Approach

Changho Shin and Jintai Chung

Key Words : Axiomatic Approach(공리적 접근), Functional Requirement(기능적 요구), Design Parameter(설계변수), Vibration Reduction(진동 저감), Modal Analysis(모드해석)

Abstract

The pipe-cutting machine developed in this study is a portable device used to cut a steel pipe. The machine, which is attached to the steel pipe by magnetic force, is moving around the pipe using four wheels. It also works for straight cutting of a steel plate. For the higher precision and labor time reduction, the automation of a pipe-cutting process is needed. However, it is not easily achieved because of vibrations and the loss of track. It is also found that the problems of the automation arise from the coupling of the functional requirements for the pipe-cutting machine. So, it is very difficult to solve the problems by a conventional design method. To overcome the difficulties the new design process for the pipe-cutting machine is established by axiomatic approach in this paper. Based on the Independence Axiom design process, a new product is designed and manufactured. Finally, it is verified by experiments that the performance of the automatic pipe-cutting machine is improved

1. 서 론

가스절단기(Pipe-cutting machine)는 Fig. 1 처럼 대형 파이프, 판재 등의 피절단물을 용이하게 절단하기 위한 장치이며, 휴대가 용이하고, 자석을 이용하여 피절단물에 부착시켜 4 개의 바퀴로 자동 이송되기 때문에 사용이 편리한 장점이 있다. 특히 기존의 절단기가 수행하지 못하는 파이프 절단 작업과 평판 절단작업을 동시에 수행할 수 있다. 그리고 기존의 절단기는 작업 시 체인이나 레일을 사용해야 하지만, 자석식 가스절단기는 이런 부속 장비가 필요 없기 때문에 신속한 설치가 가능하며 최소의 작업자로 작업시간을 약 30% 절감할 수 있는 장점이 있다.

그러나, 초기의 가스절단기는, 기존의 절단방식

보다는 진보한 형태였지만 수동식이어서 작업자가 절단하는 동안 정신을 집중하여야 하고 작업자의 높은 숙련도가 필요하였다. 이러한 이유로 높은 정밀도를 가지고 자동으로 대형 파이프나 판재를 절단하는 절단기의 개발이 진행되었다. 그러나 자동으로 이송되는 가스절단기의 경우 두가지 문제가 발생한다. 첫번째의 경우는 절단을 정확하고 능률적으로 조정할수 있는 궤도 이탈 방지에 관한 문제로서 판재의 두께나 경사도, 표면정도 등에 의한 각각 다른 절단 환경과 굴곡을 극복하면서 진행방향이 작업궤도를 유지하는 것이다. 두번째 문제는 소재의 깨끗한 절단면과 직접적 영향이 있는 절단가스의 분사부인 팁(tip)부분의 진동저감에 관한 문제로서 구동모터의 가진원에 의한 진동영향을 최소화하는 것이다. 진동원과 경로를 분석하여 가진원 자체를 소멸시키거나, 그것이 여의치 않은 경우 전달경로의 문제를 해결해야 한다.⁽¹⁾⁻⁽¹⁵⁾ 그러나 위의 문제들을 단순하게 해결하기란 쉽지않다. 왜냐하면 주행함에 따라 본체와 분사부분이 진동의 영향을 받고, 이는 절단 작업의 궤도 이탈을

* 회원, 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

† 책임저자, 회원, 한양대학교 기계공학과

E-mail : jchung@hanyang.ac.kr

TEL : (031)400-5287 FAX : (031)406-5550

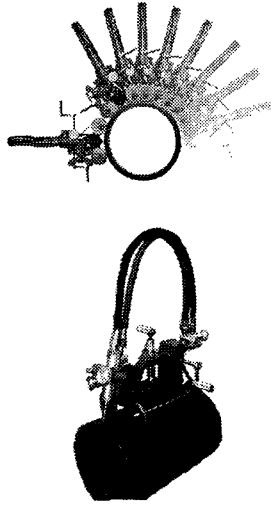


Fig. 1 Pipe-cutting machine

유발하고 다시 주행에 영향을 미치는 복합적 시스템으로 구성되어 있기 때문이다. 또한 기존의 방법들은 개발하는 사람의 경험과 나름의 방식대로 해결하려는 경향이 지배적이었다. 하지만 이러한 방식은 비체계적이며, 직관에 의존하여 개발과정의 수많은 시행착오를 거쳐도 만족할만한 성과를 얻기가 어려운 경우가 많다.

따라서 최초 설계과정에서 체계적이며 합리적 방식인 공리적 접근방법을 도입하였다.⁽¹⁶⁻¹⁸⁾ 공리적 접근법은 독립공리(The Independence Axiom)와 정보공리(The Information Axiom)로 이루어져 있다. 독립공리는 제 1 공리로서 주어진 기능적 요구(Functional Requires : FRs)들이 적절한 설계 변수(Design Parameters : DPs)를 독립적으로 만족시키는 것이다. 즉 연성설계(Coupled design)는 좋은 설계가 아니며, 설계 변수의 재조정을 통하여 비연성설계나 비연성화 설계로의 변환을 요구하는 것이다. 정보공리(The Information Axiom)는 제 2 공리로서 제 1 공리를 만족할 수 있는 복수의 설계를 발견했을 경우에, 그 중 관계된 정보량을 최소화하는 설계를 선택하라는 의미가 있다. 이러한 공리적 접근법은 부품설계, 시스템설계등과 같은 분야에서 많은 성과를 이루고 있으며, 상당히 간단하지만 또한 공학적으로 많은 의미를 함축하고 있다.⁽¹⁹⁻²⁸⁾

이 논문의 주된 목적은 시스템의 다른 기능적 요구사항이 복합적으로 설정되어있을 때 특히 진동문제와 연관되어 있는 경우 기존의 진동저감 방

법과 공리적 접근의 조합을 통하여 얻을 수 있는 효과를 보여주는 데 있다. 가장 큰 효과는 기능적 연성 관계를 제거함으로써 다수의 기능적 요구사항을 만족시키는 제품을 개발할 수 있음을 보여주 고자 한다.

2. 기존설계의 공리적 분석 및 진단

2.1 독립공리

기능적 요구(FRs)-설계변수(DPs)간의 관계는 설계행렬로써 설명할 수 있다. 즉 벡터로 설계행렬 A 를 사용하여 다음과 같이 표현 가능하다.

$$\{FRs\} = [A]\{DPs\} \quad (1)$$

독립공리를 만족하는 여부는 행렬 A 의 특징으로 결정되는데, 먼저 분석결과가 다음과 같은 경우를 생각할 수 있다.

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)에서 FRs 는 가스절단기의 기능적 요구를 의미하고, DPs 는 물리적으로 독립된 설계파라미터를 의미한다. 식 (2)의 경우는 각각의 DP 의 수정은 다른 DP 나 FR 에 영향을 미치어 가스절단기 설계에서 연성 설계(coupled design)라고 표현할 수 있다.

반면에 다음과 같은 가스절단기의 분석결과를 가정해 보자.

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)은 비연성 설계(uncoupled design)의 경우로서 각각의 DP 수정에 다른 DP 나 FR 에 영향을 미치지 않고 대응되는 FR 에만 영향을 미치게 되고 각각 독립적으로 이루어 지게 되어 설계가 용이하다.

비연성화 설계(decoupled design)의 경우는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

위의 경우는 DP 의 적용순서가 중요하다. 설계

함에 있어서 DP1 을 먼저 결정하고 다음순서는 DP2 를 수정하면 즉 순차적 순서에 의해 문제를 해결할 수 있다. 비연성 설계보다는 다소 복잡하지만 연성설계에 비해서는 시행착오가 절대적으로 감소하게 됨을 알 수 있다.

2.2 기존설계의 공리적 분석

기능요구의 독립성을 유지해야 한다는 독립공리를 이용하여 먼저 가스절단기의 기능적 요구벡터 FRs 와 설계변수인 벡터 DPs 를 결정하고 이들의 관계를 설계행렬로 표현하면 다음과 같다.

- FR1 : 가스화염 분사 부분인 팁부분의 구조진동을 최소화하라.
- FR2 : 모터진동의 전달경로를 차단하라.
- FR3 : 구동 바퀴축의 휨 현상을 방지하라.
- FR4 : 자력의 세기를 향상시켜라.
- FR5 : 본체의 무게중심을 최대한 낮추어라.

위와 같은 기능요구가 결정된 근거는 자동화된 가스절단기가 화염분사 부분인 팁부분의 공진에 의해 정밀한 절단작업이 곤란하고, 또 수직 절단시 작업경로를 큰 오차로 이탈함에 따른 것이다. 기능요구에 대응되는 설계변수를 기존의 설계에서 찾으면 아래와 같이 표시할 수 있다.

- DP1 : 모터 부착부의 진동 차단재 (Isolation)
- DP2 : 바퀴축의 반경
- DP3 : 부착자석
- DP4 : 차체의 무게

이 때의 설계행렬은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ FR_4 \\ FR_5 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 \\ X & X & X & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ DP_4 \end{pmatrix} \quad (5)$$

위의 식 (5)로부터 5 개의 기능적 요구(FRs)를 설계변수(DPs) 4 개로 조정해야 하는 연성된 설계임을 알 수 있다. 즉 독립공리를 만족시키지 못하는 연성설계로 설계변수를 새로 추가하여 기능적 요구의 수와 같도록 하면 독립공리를 만족시키는 비연성 설계 또는 비연성화 설계를 유도할 수 있다.

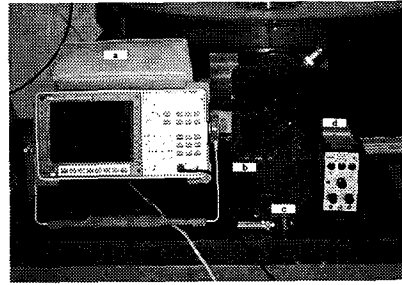


Fig. 2 Experimental setup for signal and system analysis

2.3 실험에 의한 진동원 분석 및 무게중심 파악

2.3.1 측정장비

실험장비는 (a) FFT Analyzer (HP 35670A), (b) 충격해머 (impact hammer), (c) 가속도계 (B&K4383), (d) 조건 증폭기 (B&K4383) 등이 쓰였다. 가속도계는 wax 를 사용하여 가스절단기의 주요부품 부분에 부착시켜 진동신호를 측정하였다. 이 신호는 조건 증폭기에 의하여 증폭되어 주파수 분석기로 전달되어 분석된다.

2.3.2 신호분석법(signal analysis)

운전중인 가스절단기에는 다양한 진동원 및 경로가 있기 때문에 진동저감 대책을 강구하기 위해서는 우선 발생원에 대한 각 부품별 진동 기여도를 측정하였다. 그리고 정규 운행 속도인 12V DC 모터의 회전수를 2900 rpm ~ 3600 rpm 까지 100 rpm 간격으로 증가시켜가며 진동신호에 대한 분석을 하였다. 주위 환경의 진동영향을 최소화하기 위해서 가스절단기를 방진장치(optical bench)에 설치하였다. 측정결과 부품 중 가스방출부인 팁부분의 진동이 매우 크며 진동신호 결과는 아래의 Fig. 3 과 같은 진동 스펙트럼으로 표현하였다. 수평축은 주파수를 나타내고 수직축은 회전수를 나타낸다. 회전수에 따른 일련의 피크가 직선상에 나타나는 것을 볼 수 있는데 이것은 직선상의 각 피크가 회전수와 선형적인 비례관계가 있음을 의미한다. 일반적으로 1X 성분은 모터의 질량 불평형, 축간 어긋남, 조립불량 등에 의해 모터가 1 회전할 때마다 1 번씩 가진되는 것을 의미한다. 2X 성분은 보통 축간 어긋남, 벨트의 마멸, 축의 균열 등에 의해 모터가 1 회전할 때 마다 2 번씩 가진되는 것을 나타낸다. 그외 3X, 4X, 그리고 그 이상의 다른 주파수 성분을 가지는 진동은 모터부분의 불량, 베어링의 마모 등에 의해 모터가 1 회전할 때마다 각각의 배수에 해당하는 회수로 모터를 가진한다고 생각할 수 있다. 주파수 분석실험의 결과

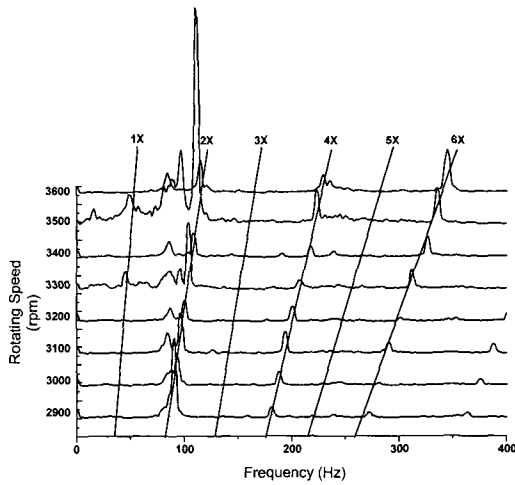


Fig. 3 Waterfall for pipe-cutting machine

가장 큰 특징은 2X 성분의 진동이 정밀한 절단작업을 저해하는 요소임을 발견하였다.

2.3.3 시스템 분석법(system analysis)

가스절단기의 진동특성을 개선하기 위해 90~120 Hz 인 고유진동수를 갖는 부품을 충격해머(impact hammer)를 이용하여 측정하였다. 그리고 측정결과 팁부분의 고유진동수가 115 Hz 임을 측정하였다. 이것은 가진하는 모터의 회전수와 팁부분의 고유진동수가 2X 성분에 의해 공진효과를 나타냄을 알 수 있다. 즉 기존의 가스절단기는 모터의 진동원과 가스화염 분사구인 팁부분의 공진현상에 의해 정밀한 절단작업이 어려움을 알 수 있다. 따라서 이런 공진현상을 회피하기 위해선 먼저 모터부분의 교체를 생각할 수 있다. 하지만 타 제품에 비해 기존 제품의 성능이 우수하고 경제적이었기 때문에 이 방안은 채택하지 않았다. 그리고 다른 방안은 팁부분의 경량화 방안이다. 즉 팁부분의 반경 길이를 줄임으로써 전체 질량의 감소 및 공진효과를 피하는 것이다. 가공횟수도 늘어나지 않았고 단가도 줄일 수 있는 부수적 효과가 있어 이 방안을 채택하였다.

2.3.4 무게중심의 위치

가스절단기는 100 여종의 부품들로 이루어져 있어서, 실제 무게중심을 계산하는 것은 쉽지 않다. 따라서 무게의 비중이 있는 부품인 본체 조립부(Body-Frame-Assy), 본체 하단부(Body-Frame-Base), 본체 전단부(Body-Frh-Assy), 기어부(Worm-Wheel-Assy), 자석실부(Magnet-Assy), 팁부분(Torch-Ctr-Assy) 등 70 여 부품에 대해 손잡이(기준점)에서의

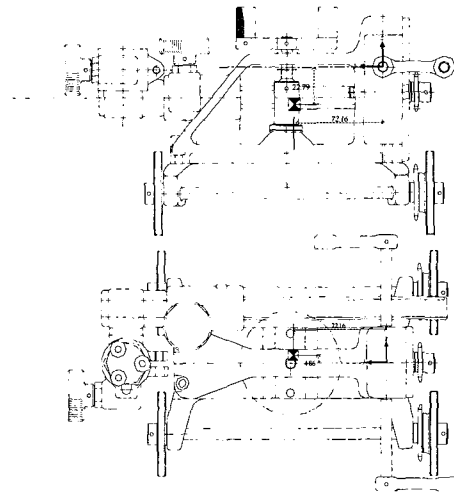


Fig. 4 Center of mass for pipe-cutting machine

위치와 무게를 구하여 무게중심의 위치를 계산하였다. 무게중심은 Fig. 4 와 같이 수평방향으로는 거의 대칭으로 문제가 거의 없으며, 수직방향으로는 지면에서 높은 지점에 위치하고 있어 케도이탈의 요소임을 확인하였다. 따라서 문제가 되는 것은 수직방향의 무게중심이었다. 이것은 본체의 구조변경이 없이는 수직면을 절단시 케도이탈의 문제를 해결할 수 없음을 의미한다. 또한 부착력에 있어서도 저중심의 본체설계에 비하여 훨씬 저하됨을 알 수 있었다. 경제적인 측면에서도 많은 부품으로 인하여 수작업이 많고, 제작비도 높았기 때문에 부품을 최대한 줄이고, 제작 공정도 단순화 할 수 있는 본체설계를 요구하였다.

2.3.5 기타

바퀴부는 체인에 의해서 구동되는데 체인의 장력에 의해 바퀴부의 축이 시간이 경과함에 따라 휘는 현상을 발견하였다. 따라서 이런 휘는 현상을 방지하기 위해 가장 적합한 체인의 길이를 구하고 스프로킷의 위치를 정하기 위하여 잘 알려진 식 (6)을 사용하였다.

$$L = \frac{2C}{p} + \frac{1}{2}(Z_A + Z_B) + \frac{0.0257p}{C}(Z_B - Z_A)^2 \quad (6)$$

여기서 L 은 링크수로 나타낸 축간 길이를 나타내며 p 는 피치이고, Z_A 는 작은 스프로킷의 잇수를 Z_B 는 큰 스프로킷의 잇수를 그리고 C 는 축간거리를 각각 의미한다.

3. 공리적 설계를 이용한 개선모델 개발

3.1 독립공리를 이용한 가스절단기의 설계안

독립공리를 만족하는 새로운 설계를 도출하기 위하여 새로운 설계변수를 갖도록 가스절단기를 고안하였다. 일단 FR1, FR2 만을 고려하여 따로 구분되는 설계안을 도출해 보면 모터부의 차단재는 가진원인 모터의 진동만을 차단하도록 하고, 다른 설계변수인 팁부분의 축반경을 변경하는 것이다. 이 설계를 설계행렬로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{pmatrix} \quad (7)$$

즉 다시 설계의 기능요구와 설계변수를 정리하면 다음과 같다.

기능요구

- FR1 : 가스화염 분사 부분인 팁부분의 구조진동을 최소화하라.
- FR2 : 모터진동의 전달경로를 차단하라.
- FR3 : 구동 바퀴축의 휨 현상을 방지하라.
- FR4 : 자력의 세기를 향상시켜라.
- FR5 : 본체의 무게중심을 최대한 낮추어라.

설계변수

- DP1 : 팁부분의 반경
- DP2 : 모터 부착부의 진동 차단재 (Isolation)
- DP3 : 바퀴축의 반경
- DP4 : 부착자석
- DP5 : 차체의 무게

확장된 새로운 설계는 기존의 설계와 다르게 비연성화된 설계행렬이 된다.

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ FR_4 \\ FR_5 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X & 0 \\ X & X & X & X & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ DP_4 \\ DP_5 \end{pmatrix} \quad (8)$$

3.2 개선모델의 개발

독립공리를 적용해 개발한 자동 가스절단기의 모델은 Fig. 5 와 같다. DC 모터를 설치하여, 12V 의 전압에 의해 구동된다. 총 중량은 7kg 이며, 팁부분의 반경 10mm 를 증대하였다. 자석실의 자석은 새로운 제품으로 교체하여 부착력을 강화하였으며

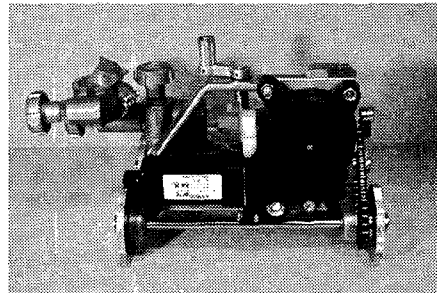


Fig. 5 Improved automatic pipe-cutting machine

Table 1 Essential Parts designed by new design process

| 검토 항목 | 변경전 | 변경후 |
|-------------|-------|---------|
| 기어실 옆면 두께 | 6.5mm | 8mm |
| 호스의 형상 | 직선 | Angle |
| 팁의 양결합부의 위치 | 270 도 | 300 도 |
| 체인 길이 | | 감소 |
| 기어실의 위치 | | 15mm 낮춤 |
| 워엄기어의 위치 | | 15mm 낮춤 |
| 팁조절부의 위치 | | 15mm 낮춤 |
| 분배밸브의 위치 | | 20mm 낮춤 |

운행속도는 500 mm/min 로 저속화 하여 최적의 작업속도를 유지하였다. 설치가 훨씬 편리하여졌으며, 협소한 장소에서도 작업을 가능케 하여 주며, 비전문 숙련공도 쉽게 사용 가능하도록 제작하였다.

3.3 저중심의 구조변경

무게중심이 자석실 보다 낮은 위치에 오도록 전고를 하향 변경하고, 본체의 구조를 낮추는 한편 다른 주요 부품의 위치도 Table 1 처럼 변경하였다. 수평방향으로는 Fig. 6 처럼 대칭을 이루어 편심영향이 거의 없으며, 수직방향으로 구형에 비해 개량된 가스절단기의 무게중심은 27mm~35mm 가 낮게 설계되어, 지면에서는 74mm 정도 높이에 위치해 있다. 또한 수직면을 절단시 웨도이탈 방지를 위해 기존의 자석보다 자력의 세기가 2 배 강한 제품으로 교체하였고, 안정성 면에서도 양 바퀴축의 간격을 더 늘려 작업능률의 향상을 도모하였다.

3.4 기타 구조변경

기존의 가스절단기는 본체 부분이 조립형이었기 때문에 체결부분에서 볼트 풀림 현상이 발생되

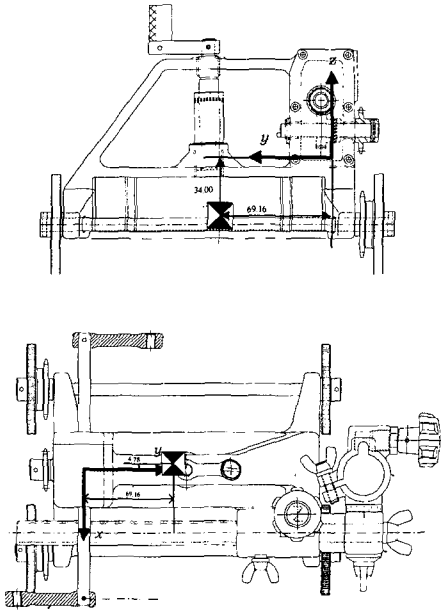


Fig. 6 Mass of center for improved automatic pipe-cutting machine

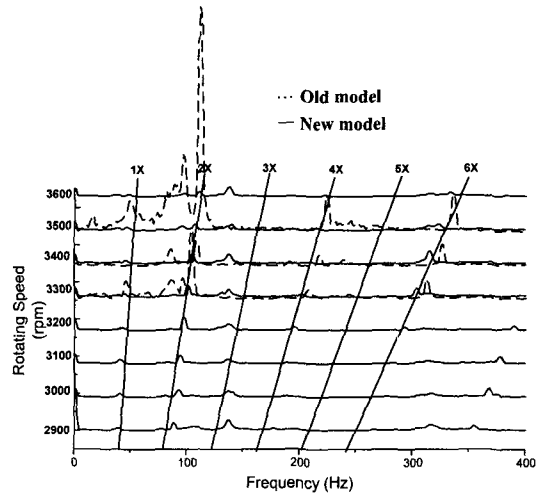


Fig. 7 Waterfall plot of the new model

Table 2 Other parts designed by new design process

| 변경부품 | 비고 |
|----------|-----------------|
| 본체 | 일체형 |
| 본체커버 | 두께: 8mm 형상변경 |
| 토치 조절부 | 길이변경 및 볼트변경 |
| 토치 랙부 | 길이변경 및 나사깊이변경 |
| 핸드부 | 형상 및 재질변경 |
| 토치홀드 조절부 | 형상변경 |
| 토치각도 조절부 | 형상변경 |
| 구동 핸들부 | 두께증가 및 형상변경 |

었다. 또한 제작시에도 더 많은 공정을 필요로 하여 경제적 측면에서도 불리하였다. 따라서 일체형으로 만들어 볼트의 풀림에 의한 본체의 진동을 제거함으로써 안정성을 향상시켰다. 또한 부품가공 횟수를 감소하여 원가절감도 이룩하였다. 궤도 이탈의 한 요소인 바퀴부의 변형을 방지하기 위해 바퀴축의 반경을 10mm 넓게 하고, 식 (6)으로 계산된 거리를 감안하여 체인의 길이를 줄이고, 스프로킷의 고정위치를 낮추어 장력의 영향을 최소화 하였다. Table 2 에서 처럼 그 밖의 부품들은 주로 형상을 변경하여 미려하고 세련된 시각적 측면을 고려하여 상품성을 극대화 하였다.

4. 실험적 검증을 통한 진동특성 비교

공리적 설계를 통하여 제작한 신형 가스절단기의 진동 특성을 분석하기 위해 Waterfall plot 을 이용한 신호해석을 수행하였다. 구형을 실험했을 때와 같은 정격운행 회전수인 2900~3600 rpm 에서 100 rpm 간격으로 증가시켜가면서 진동신호를 측정하였다. 결과는 Fig. 7 과 같다. 실제 운행되는 속도에서 구형에 비해 현저히 공진효과와 감소가 있음을 알 수 있다. 특히 점선으로 표현된 구형의 가스절단기에서는 가장 큰 진동을 발생했던 3300~3500rpm 에서도 신형인 경우는 거의 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 그리고 시스템 분석을 통하여 이러한 공진현상이 일어나지 않음을 다시 확인할 수 있다. Fig. 8 에서 처럼 구형의 경우는 팁부분의 고유진동수가 115 Hz 로 정격속도로 운행시 2X 의 성분 에 의해서 공진을 유발하지만 팁부분의 반경을 줄여 질량을 감소시킴으로써 고유진동수를 124 Hz 로 이동시켰다. 즉 회전수로는 540 rpm 의 이동효과가 있었다. 따라서 정격 속도에서는 2X 성분 에 의한 공진이 발생되지 않음을 알 수 있다.

또한 구형과 신형의 진동량을 분석하여 Fig. 9 에 표현하였다. 측정결과를 통하여 다시 한번 확인할 수 있는 것은 3300~3500 rpm 에서 측정되어진 진동량이 구형인 경우는 상당히 크게 나옴을 확인할 수 있다. 이것은 앞서 말한 것처럼 팁부분

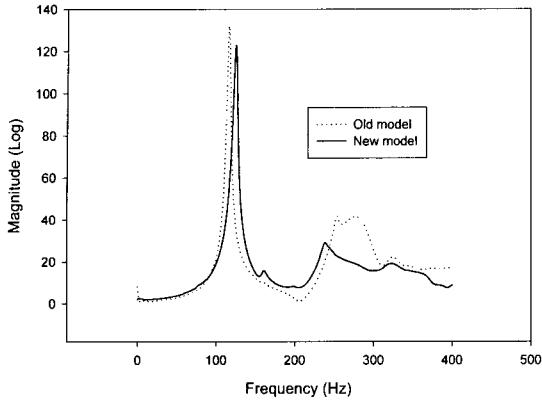


Fig. 8 Frequency response function at tip part

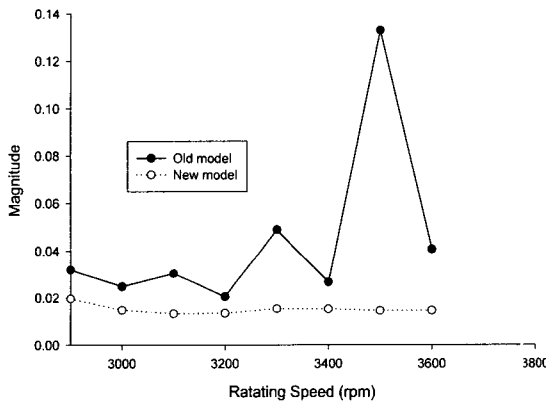


Fig. 9 Overall amount of vibration

의 고유진동수가 공진효과를 유발하기 때문이다. 그러나 신형의 경우 고유진동수가 공진효과 범위 벗어 나 오히려 정격속도에서는 어떤 상태에서도 진동량이 크게 발생하지 않는 저진동 가스절단기임을 확인할 수 있다.

또한 마지막으로 케도이탈의 문제는 지름 2m의 대형 원형 파이프에서 시험 절단을 실시하여 측정하였다. 구형의 경우는 수직면을 절단시 케도이탈이 5cm 이상 발생하여 자동화가 불가능하였지만 공리적 접근을 통하여 제작한 신형의 경우는 0.1mm 정도의 오차만 발생하는 만족할 만한 결과를 얻었다.

5. 결론

여기서 보인 자동화된 가스절단기의 예는 독립공리만을 적용한 대표적인 경우이다. 즉 독립공리

에 의해 기능적 요구와 설계변수의 관계가 1:1 대응이 되도록 하는 것이 설계에 유용함을 알 수 있었다. 또 기존의 진동문제를 포함한 복잡한 연성의 관계를 해소하여 시제품을 설계함으로써 우수한 성능을 가진 국산화된 가스절단기를 개발할 수 있었다. 본 연구에서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 가스절단기의 진동과 케도이탈 방지라는 서로 연성된 문제를 공리적 접근을 통하여 체계적으로 비연성화 할 수 있다.

(2) 공리적 접근을 통해 개발된 제품은 기존의 제품에 비해 제작기간 및 성능에서 훨씬 만족할 만한 성과를 얻을 수 있다.

향후에는 사람이 작업하기 어려운 지하나 바닷속에서도 작업할 수 있는 원격 조정의 가스절단기에 대해 정보량의 적절한 정의를 찾기 위한 정보공리의 적용도 검토해 볼 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) Harris, C. M., 1997, "Shock and Vibration Handbook," McGrawhill, Fourth Edition..
- (2) Ewins, D. J., 1986, "Modal Testing: Theory and Practice," B&K.
- (3) Hollkamp, J. J. and Gordon, R. W., 2001, "Modal Test Experiences with a Jet Engine Fan Model," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 248, No. 1, pp. 151~165.
- (4) Tan, C. A. and Ying, S., 2000, "Active Wave Control of the Axially Moving String: Theory and Experiment," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 236, No. 5, pp. 861~880.
- (5) Chung, J. and Ro, D. S., 1999, "Dynamic Analysis of an Automatic Dynamic Balancer for Rotating Mechanisms," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 228, No. 5, pp. 1035~1056.
- (6) Heo, J. W., Kwon, T. J., Chung, J., Han, C. S. and Ahn, K. H., 2001, "A Study on the Effect of the Vibration and Particle Generation of a Spin Coater on Thin Film Coating," *Journal of KSNVE*, Vol. 11, No. 4, pp. 31~36.
- (7) Song, S. H., Kim, H. R. and Chung, J., 2000, "A Study on Vibration Reduction of an Industrial Fan," *Journal of KSNVE*, Vol. 10, No. 3, pp. 457~464.
- (8) Kwon, T. J., Chae, H. C., Han, C. S., Chung, J. and Ahn, K. H., 2000, "Modeling and Sensitivity Analysis for the Performance Improvement of a Spin Coater," *Journal of KSMTE*, Vol. 9, No. 6, pp. 96~102.
- (9) Hong, J. S., Park, S. H., Kim, H. S., Oh, J. E. and Chung, J., 2000, "Active Vibration Control of Acoustically Loaded Flexible Plate Enclosure Using Multi Channel Control Algorithm," *Transaction of the KSME, A*, Vol. 24, No. 6, pp. 1390~1397.
- (10) Lee, D. J., Chung, J. and Hwang, C. H., 2000,

- “Vibration Analysis of an Automatic Ball Balancer with Double Races,” *Transaction of the KSME, A*, Vol. 24, No. 5, pp. 1093~1102.
- (11) Lee, D. J., Chung, J. and Ro, D. S., 1999, “Vibration Reduction of an Optical Disk Drive Using an Automatic Ball Balancer,” *Journal of KSNVE*, Vol. 9, No. 2, pp. 355~362.
- (12) Park, J. M., Ro, D. S. and Chung, J., 1999, “Vibration Analysis of an Automatic Ball Balancer,” *Journal of KSNVE*, Vol. 9, No. 2, pp. 363~370.
- (13) Chung, J., Park, J. M. and Ro, D. S., 1997, “Optimal Position of the Dampers in a CD-ROM Drive to Remove the Tilting Vibration Mode,” *Journal of KSNVE*, Vol. 7, No. 3, pp. 393~399.
- (14) Chung, J., 1995, “A Study on Selection for the Rotating Speeds of Spindle Motors to Stabilize Computer Hard Disks,” *Journal of KSNVE*, Vol. 5, No. 2, pp. 163~168.
- (15) Chung, J., 1999, “A Study on Mechanism Design of Optical Spinning Disk,” Final Report of SEC.
- (16) Suh, Nam P., 2001, “Axiomatic Design,” The Oxford University Press.
- (17) Suh, Nam P., 1999, “A Theory of Complexity, Periodicity and the Design Axioms,” *Research in Engineering Design*, Vol. 11, pp. 116~132.
- (18) Suh, Nam P., 1998, “Axiomatic Design Theory for Systems,” *Research in Engineering Design*, Vol. 10, pp. 189~209.
- (19) Li, H.-X., Tso, S. K., and Deng, H., 2001, “A Conceptual Approach to Integrate Design and Control for the Epoxy Dispensing Process,” *International Journal of advanced Manufacturing Technology*, Vol. 17, pp. 677~682.
- (20) Chen, L. and Raman, K., 2000, “A Subjective Design Framework for Conceptual Design of Polymeric Processes with Multiple Parameters,” *Research in Engineering Design*, Vol. 12, pp. 220~234.
- (21) Engelhardt, F., 2000, “Improving Systems by Combining Axiomatic Design, Quality Control Tools and Designed Experiments,” *Research in Engineering Design*, Vol. 12, pp. 204~219.
- (22) Deng, Y.-M., Tor, S. B. and Britton, G. A., 2000, “Abstracting and Exploring Functional Design Information for Conceptual Mechanical Product Design,” *Engineering with Computers*, Vol. 16, pp. 36~52.
- (23) Shooter, S.B., Keirouz, W. T., Szykman, S. and Fenves, S. J., 2000, “A Model for the Flow of Design Information in Product Development,” *Engineering With Computers*, Vol. 16, pp. 178~194.
- (24) Do, S. H. and Park, G. J., 2001, “Application of Design Axioms for Glass Bulb Design and Software Development for Design Automation,” *Journal of Mechanical Design*, Vol. 123, pp. 1~8.
- (25) Lee, J. S. and Cha, S. W., 2001, “Axiomatic Approach for the Design of Reducing the Noise and Vibration of CD-ROM Drive,” *Spring Conference of KSNVE*, pp. 504~509.
- (26) Lee, K. W. and Park, G. J., 2000, “A Structural Optimization Methodology Using the Independence Axiom,” *Transaction of the KSME, A*, Vol. 24, No. 10, pp. 2438~2450.
- (27) Song, Y. S., Yang, Y. S. and Jang, B. S., 1999, “Application of Design Axiom to Marine Design Problems,” *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 36, No. 3, pp. 107~114.
- (28) Park, G. J., Do, S. H. and Suh, Nam P., 1999, “Design and Extension of Software System Using the Axiomatic Design Framework,” *Transaction of the KSME, A*, Vol. 23, No. 9, pp. 1536~1549.