한국공작기계학회지 Vol.19 No.1 2010. 2. pp. 50~56
Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers

6시그마 DMADOV기반 아리즈와 브레인스토밍을 이용한 취부용 피스제거 시스템의 공학문제 해결에 관한연구

이성조*, 정원지+, 이춘만++

(논문접수일 2009. 07. 28, 심사완료일 2009. 12. 15)

A Study on Solving Engineering Problems of a Piece-removing System using 6-Sigma DMADOV Technique with ARIZ & Brainstorming

Seong-Jo Lee*, Won-Ji Chung+, Choon-Man Lee++

Abstract

This paper presents a new design algorithm for piece-removing dynamical system, based on 6-Sigma DMADOV technique using ARIZ and Brainstorming. Our design target is the piece-removing system installed on a mobile platform of bead-grinding equipment. The 6-Sigma DMADOV technique guides us design process according to 6 steps, i.e., Define – Measure – Analyze – Design – Optimize – Verify. A Design strategy to reduce the weight of piece-removing dynamical system will be explored by using ARIZ, i.e.,(the abbreviation of Algorithm for Inventive Problem Solving in Russian). The ARIZ will result in a final solution that the height and angle control parts for a cutting tool should be replaced by a kinematical approach, rather than complicated mechatronic approach(using motors). The Optimize step is composed of two sub-steps: (i) Generating process for obtaining several ideas of piece-removing system by using Brainstorming technique, satisfying the final solution derived from the Design step using ARIZ, and (ii) Optimizing process for selecting the most optimal idea of piece-removing system by using Pugh's matrix from the viewpoints of weight, cost and accuracy. The laststep of Verify has shown that the final design obtained by the 6-Sigma DMADOV technique with ARIZ & Brainstormingcan improve an initial design with design requirements satisfied. In this paper, we have shown that ARIZ and Brainstorming can be cooperatively merged into 6-Sigma DMADOV to give us both a formulatedproblem-solving approach and diverse candidate solutions(or ideas) without trial-and-error efforts.

Key Words : Piece-removing dynamical system, 6-Sigma DMADOV(Define-Measure-Analyze-Design-Optimize-Verify), ARIZ ('Algorithm for Inventive Problem Solving'이란 뜻의 러시아어의 머리글자), Brainstorming, Pugh's matrix

* 창원대학교 기계설계공학과 대학원
\+ 교신저자, 창원대학교 기계설계공학과 (wjchung@chungwon.ac.kr)
주소: 641-773 경남 창원시 사림동 9번지 소나무 5길 65, 53호관 214호
++ 창원대학교 기계설계공학과

1. 서 론

선박 건조는 낱개의 많은 판을 용접을 통해 단위 블록을 만들고, 이 단위 블록들을 조립(용접)하여 배를 완성시키는 일련의 과정이다. 선박 건조 공정에서 용접 공정이 가장 많은 비중을 차지한다. 용접 작업시 국부적인 열전도와 열응력에 의해 열변형 현상이 일어나기 때문에 조선소에서는 변형을 막기 위해 많은 피스(Piece)를 이용한다. Fig. 1과 같이 선박 건조 공정 중 조립을 위해서는 용접하고자 하는 양쪽 모재에 피스를 용접하는 방법으로 고정시킨다. 그리고 원하는 용접을 하게 되면 사용되었던 피스는 제거하게 된다. 이때, 피스는 Fig. 1과 같이 가스토치를 통해 1차 제거되고 남은 용접 비드는 에어 그라인더를 이용한 사상 작업으로 제거된다. 가스토치를 이용하여 피스를 제거하는 경우 숙련된 작업자에 의해서만 작업이 가능하기 때문에 인력 수급에 어려움이 있고, 높은 인건비가 소요된다. 그리고 가스토치에 의한 화기 작업을 하기 때문에 화재의 위험과 작업자의 안전사고의 위험이 높다. 그리고 피스를 제거하고 남은 용접 비드의 사상 작업 역시 수작업으로 많은 시수가 소요되고, 작업강도 및 피로도가 높기 때문에 작업자가 작업하기를 기피한다. 그렇기 때문에 인력 수급에 많은 어려움이 있고, 작업품질의 불균일성 및 저생산성 등의 문제가 발생하고 있다.

따라서 피스제거 자동화 시스템 개발이 요구되며, 성공적으로 개발되면 파급 효과가 매우 높고 조선의 생산성 및 작업 품질 향상에 크게 기여 하며 이로 인한 국내 조선 경쟁력은 강화될 것으로 예상된다.[1]

이전에 피스제거 후 남은 가접부위를 자동화 장비로 제거하고자 Fig. 2와 같이 용접비드 사상 장비를 개발하였다.

본 논문에서는 기존 장비(용접비드 사상 장비)의 이동식 플랫폼을 사용한 피스제거용 동적 시스템의 공학적인 문제점의 해결방법에 대해 논하고자 한다. 좀 더 구체적으로 말하면 6-Sigman DMADOV기법을 기반으로 하여 '설계' 단계에서는 ARIZ('창조적 문제해결 알고리즘'을 의미하는 러시아어의 약자)를 적용하고 '최적화' 단계에서는 브레인스토밍을 사용하여 기존 용접비드 사상 장비와 호환되는 piece 제거용 시스템을 개발 할 것이다. 그 결과, 기존에 개발된 용접비드 사상 장비의 플랫폼을 piece 제거 작업과 비드 연삭 작업에 모두 사용할 수 있게 될 것이다.

2. 6시그마 DMADOV 기법

6 시그마는 제품이나 서비스 중 불량품이나 에러 발생률을 100만개 당 3.4개로 줄이는 것을 목표로 두고 있는 전사적 품질 혁신 활동으로, 전사적 품질경영(TQM : Total Quality Management)에 진일보하여 품질 경쟁력 확보라는 현대사회의 요구에 대응하기 위한 경영혁신 기법이다.[2]

6시그마 프로젝트를 수행하는 방법론은 DMAIC와 DMADOV의 두 가지유형이 있다. 그 중 DMADOV는 신제품을 설계하

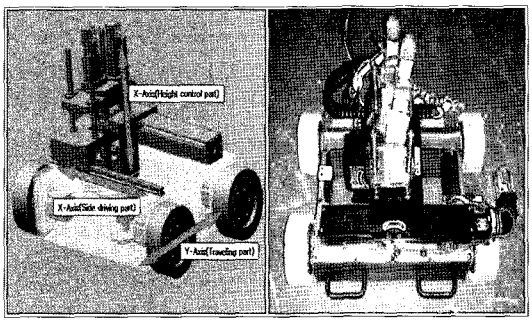


Fig. 2 Composition of the welding bead removing system

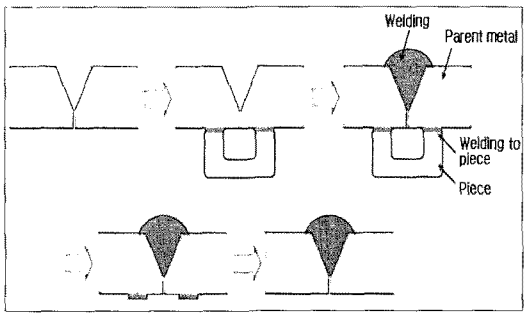


Fig. 1 Assembly process of shipbuilding

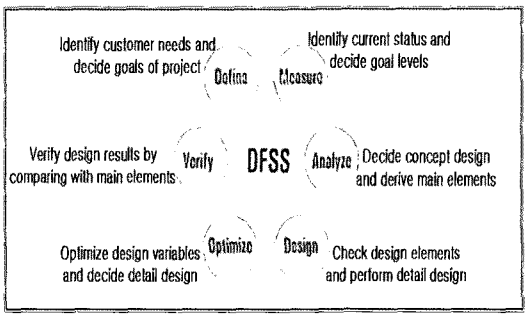


Fig. 3 Six steps of the DMADOV technique

거나 현재 존재하지 않는 새로운 프로세스를 처음부터 6시그마 수준으로 설계하기 위한 방법론이다. 이 때문에 DMADOV는 DFSS(Design for Six sigma) 방법론이라고 부른다. DFSS는 Define, Measure, Analyze, Design, Optimize, Verify의 여섯단계를 거쳐 프로젝트를 수행한다.[3]

2.1 Define(정의)

정의 단계는 고객의 요구 사항과 프로세서의 목표를 정의하며 문제점을 알아내는 출발 단계로 볼 수 있다.

본 논문의 대상은 앞서 개발한 장비(용접비드 사상장비)에 피스제거 시스템을 장착한 피스제거 자동화 장비이다. 기존의 용접비드 사상장비에 Z축(사상 툴 높이조절부)을 제거하고 피스제거를 하기위한 절단장비를 부착 하고자 한다. 정확한 절단을 하기 위해서는 절단 툴 높이조절부와 툴 각도 조절부 등의 추가적인 장치가 필요하다. 하지만 본 장치들을 모두 설치하게 되면 모듈의 무게가 증가하여 선체측면 작업을 위한 장비부착 시스템의 용량도 증가시켜야만 하는 문제가 발생한다. 따라서 Define 단계에서는 피스제거 자동화 장비의 문제점이 추가 시스템의 장착으로 인한 장비의 중량증가로 정의하였으며 이 문제점을 개선하기 위한 설계변수를 찾고 피스제거 작업은 신속하게 하면서 그 중량은 줄이는 것에 목적이 있다.

2.2 Measure(측정)

이 단계는 실제의 문제가 무엇인지를 파악하고 문제의 정도가 얼마나 되는지를 측정하는 단계이다.

현상을 얼마나 정확하게 파악하고 알고 있느냐에 따라 그 성과가 달라지기 때문에 현상을 정확하게 측정하는 것이 무엇보다 중요하다. Fig. 4는 피스제거장비의 초기설계 형상이다. 정확한 피스제거작업을 위해서 툴 높이조절과 각도조절을 위한 지그와 서보모터를 장착하였다.

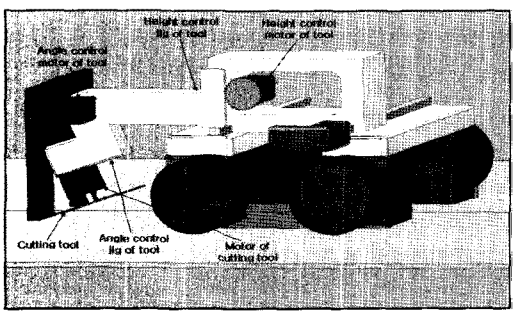


Fig. 4 Initial design of piece-removing equipment

이전의 Define 단계에서 정의한 문제점의 측정을 위해 향후 개발예정인 피스제거장비와 통일한 재질 및 부품의 중량을 입력한 피스제거장비의 초기설계를 ANSYS Workbench®를 이용하여 Fig. 5와 같이 중량 시뮬레이션을 하였다.[4]

그 결과 피스제거를 하기위한 절단장비를 부착한 피스제거 장비의 중량이 87.138kg으로 기존의 용접비드사상장비의 81kg 보다 6.138kg이 증가한 것을 알 수 있다.

2.3 Analyze(분석)

분석 단계는 데이터 해석을 통하여 핵심인자를 찾아내는 단계이다.

절단시스템 중에서 가장 큰 중량을 차지하는 부분을 분석해본 결과 절단 툴 높이조절 및 툴 각도 조절을 위한 모터의 무게가 중량에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 여기서 절단 툴 높이조절 및 툴 각도 조절부에서 사용할 모터는 각각 삼성서보모터사의 CSMZ 750W, 400W 이며 제품의 사양은 Table 1과 같다.

2.4 Design(설계)

이 단계는 프로젝트에서 요구하는 디자인 산출물들을 실제로 디자인하고 그것들이 측정단계에서 정의했던 디자인

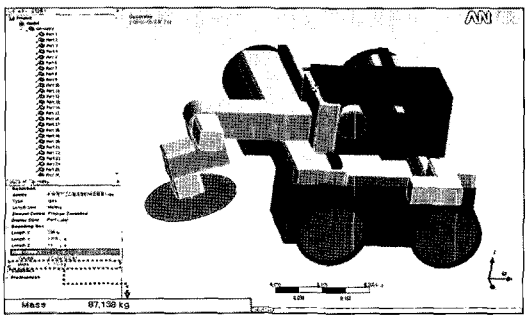


Fig. 5 Weight simulation of piece removing equipment

Table 1 Specifications of motors

	Rated power [W]	Rated torque [N.m]	Rpm [rpm]	Weight [kg]
Height control motor of tool	750	3.381	3000	5.9
Angle control motor of tool	400	2.274	3000	4.0

스코어카드를 모두 만족시키는지를 검증하며 세부적인 프로세스를 설계하는 단계이다.

설계 단계는 목표 달성을 위하여 세부적으로 프로세서를 설계하는 단계로서 앞서 측정 및 분석을 통하여 절단시스템 모터의 추가가 모듈의 중량증가의 원인임이 해석되었으며 장비의 중량을 줄이는 설계방안을 창조적 문제해결 알고리즘인 ARIZ를 이용하였다.

2.4.1 ARIZ 알고리즘을 적용한 문제의 해결

ARIZ는 창조적 문제해결 알고리즘(Algorithm for Inventive Problem Solving)이란 뜻의 러시아어의 머리글자로 TRIZ의 창의적 문제해결 방법론 중 하나이다. 이 방법론은 복잡한 문제를 해결하기 위한 일련의 논리적이고 구조적인 문제해결 과정을 가지고 있다. 여기서 알고리즘이란 단어는 문제해결을 위한 연속적인 과정을 의미한다. ARIZ 전개에서 중요한 것은 주어진 스텝들을 기계적인 연속과정으로 수행하는 것이 아니라 Fig. 6의 ARIZ의 문제해결 알고리즘에서 주어진 것과 같이 계속되는 반복과정을 통하여 논리적 오류를 수정하여야 하며 이런 과정에서 발상되는 아이디어나 단상들에 대한 기록을 놓치지 않아야 한다는 점이다.[5]

2.4.2 문제 분석

이 과정의 주요목적은 불분명한 초기 문제 상황을 명백하게 정의된 problem model로 전환하는 것이다. 여기서는 서로 얽혀 있는 복잡하고 불분명한 문제 상황에서 단순화된 문제모델을 도출한다. 먼저 주어진 문제의 상황을 모순으로 표현하면 다음과 같다.

"시스템이 복잡하면 정확한 절단이 가능하지만 모듈의 무게가 증가한다."

다음으로 기술모순을 야기시키고 있는 주체와 객체인 모순 요소들을 대상과 도구로 정의하고 서술한다. 여기서 대상은 문제 해결을 위해 변경이 어려운 요소이며 "모듈 본체" 가 되며 도구는 문제해결을 위해 변경이 가능한 요소인 절단 시스템이 된다. 마지막으로 지금까지 수행한 내용들을 정리하여 문제의 해결책을 도출하면 "절단 시스템을 간단하게 하면서 정확한 절단이 가능하게 하기위한 X-요소가 필요하다."

2.4.3 문제모델 분석

문제모델 분석은 문제모델에 대응하는 해결안 모델을 얻기위한 예비 스텝이다. 심화된 기술모순을 시스템 내외에서 분석한다. 먼저 OZ(Operational Zone)를 분석하여 표현한다. OZ는 Fig. 7과 같이 명칭과 그림으로 나타낸다.

피스와 모재 사이의 가접 부분을 모재를 손상시키지 않으면서 빠르고 정확하게 가접부분을 제거해야 하는 문제 이므로 문제 발생영역은 모재, 피스, 가접부분이 만나는 지점이 된다. 문제발생영역을 토대로 물질-장 자원을 정의한다. 여기서 물질은 가접부분, 절단 툴, 모재, 피스이며 물질에 영향을 주는 환경요소인 장 은 툴의 회전력과 툴 끝단의 절삭날의 마찰력이 된다.

2.4.4 이상해결책과 물리적 모순의 정의

여기서는 문제분석 부분에서 정리한 내용과 문제모델 분석 단계의 자원분석 결과를 바탕으로 물리모순을 정의하여 이상해결책인 해결안 모델을 정의한다. 앞서 표현한 모순과 문제분석을 토대로 이상해결책1 을 도출하면 "X-요소는 시스템을 복잡하게 하지 않고 빠르고 정확하게 가접부분을 제거해야 한다." 도출된 이상해결책1 을 심화시키고 거시적인 물리모순과 미시적인 물리모순을 정의한다.

"거시적인 물리모순 - 빠르고 정확한 절단을 위해서는 절

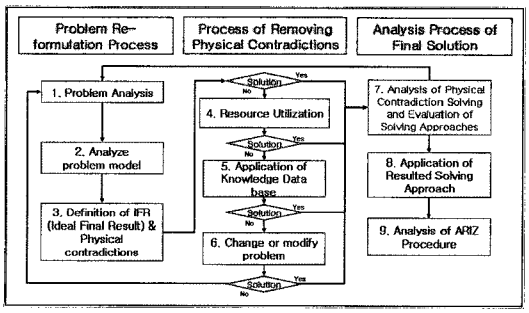


Fig. 6 Algorithm for problem solving of ARIZ

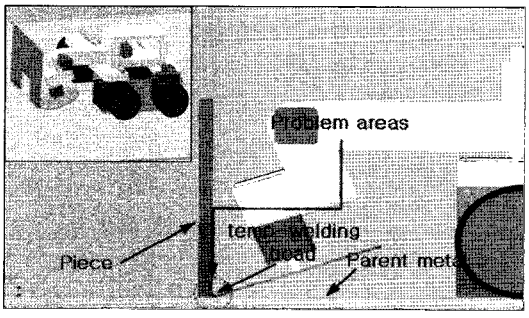


Fig. 7 OZ(Operational Zone) of welding bead removing system

단시스템(툴 높이조절부, 피스인식 시스템)이 필요하지만 무게를 줄이기 위해서는 절단시스템이 없어야 한다."

"미시적인 물리모순 - X-요소는 작용영역에 있기도 하고 없기도 하다." 마지막으로 지금까지 이 단계에서 수행한 내용들을 종합하여 이상해결책-2 를 도출하면 "절단시스템 없이 스스로 피스를 인식하여야 한다.

2.4.5 자원 활용

이 단계에서는 앞 단계에서 최종 개념 해결안을 도출하지 못하였을 때, 문제모델 분석 단계에서 분석한 가용 물질-장 자원들을 최소 변경하는 제약 내에서 앞 단계의 해결안 모델인 이상해결책을 구체적인 최종 개념 해결안으로 변환할 수 있도록 가용 자원들의 활용성을 증가시키는 기본적인 절차들을 제공한다. 통상적으로는 이번 단계까지의 과정에서 최종개념 해결안을 얻기 때문에 실제 아리즈의 적용 과정은 이번단계에서 마무리 되는 것이 일반적이다. 먼저 작은사람 모델을 이용하여 모순의 모형을 그림으로 나타내고 작은사람들이 모순없이 주어진 조건에 따라 활동하게 한다.

위의 작은사람 모델을 문장으로 나타내면 "작은사람(절단시스템)의 수를 줄어들게 함으로써 장비의 중량은 줄이고 그 기능은 할 수 있게 한다" 가 되며 이를 토대로 문제의 해결책을 나타내면 "복잡한 하드웨어 시스템(절단 툴 높이조절 및 각도조절부)보다 기구학 적으로 접근한다" 라는 문제해결을 위한 설계방안을 도출할 수 있게 되었다.

2.5 Optimize(최적화)

최적화 단계는 설계된 프로세스의 최소비용, 최소자원 등을 분석하고 프로세스를 최적화 과정을 통하여 최적화 시키는 단계이다.

이 최적화를 위한 방법으로 아이디어 발상법인 Brainstorming을 수행하고 이 Brainstorming을 통해 도출된 여러 가지 아이디어들을 아이디어 도출법의 한 방법인 Push's Matrix를 이용하여 최적의 해결책을 선정한다.

2.5.1 브레인스토밍

Brainstorming은 1941년 Allex F. Osborn이 광고관계의 아이디어를 내기위해 제창한 아이디어 발상법이다. Brainstorming은 소수의 사람이 팀을 이루어 일정한 주제에 관하여 회의를 진행하고 팀원의 자유발언을 통해 다수의 아이디어를 찾아내는 방법으로 일종의 자유연상법이다. 이 방법은 아이디어의 발상과 평가를 철저히 분리하기 위한 것으로, 제안된 아이디어에 대한 비판 없이 "열린 마음" 혹은 "자유로운 사고" 를 사용할 것을 강조한다. Brainstorming은 다양한 사람들이 참여하는 그룹회의를 통하여, 아이디어의 연쇄반응을 불러일으켜 가능한 한 많은 아이디어를 생성함으로써 문제에 대한 해결책을 찾기 위해 사용된다.[6]

2.5.2 브레인스토밍 수행방법

Brainstorming에서는 어떠한 내용의 발언이라도 그에 대한 비판을 해서는 안되며, 오히려 자유분방하고 엉뚱하기까지 한 의견을 출발점으로 해서 아이디어를 전개시켜 나가도록 하고 있다. 회의에는 리더를 두고, 구성원 수는 10명 내외를 한도로 한다. Brainstorming은 다음의 4가지 원칙에 입각하여 회의를 진행한다.[7]

(1) 가능한 많은 아이디어를 제안하라.
(2) 원한다면 다른사람의 아이디어에 편승하라.
(3) 절대로 비판하지 않는다.
(4) 엉뚱한 의견이 환영 받는다.

Table 2는 Brainstorming을 수행하여 나온 아이디어를 나타낸다.

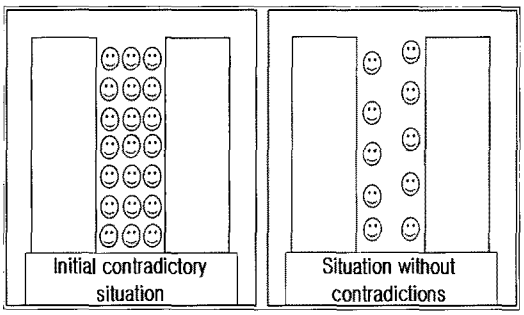


Fig. 8 Model of small-size people

Table 2 Ideas by brainstorming

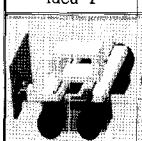
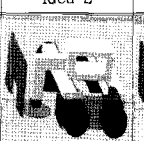
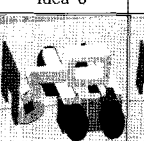
Ideas			
Idea 1	Idea 2	Idea 3	Idea 4
			
Holding cutting tool with 90°, in contact with surface of piece	Holding cutting tool with 0°, in contact with surface of parent metal	Manually operated height and angle control parts	Built-in kinematic structure with magnet at its end. for height and angle control

Table 3 Push's Matrix

Rating item	Idea 1	Idea 2	Idea 3	Idea 4	Weight
Light weight	−	−	D	S	2
Cost	−	−	A	S	1
Accuracy	−	−	T U M	+	1
Speed	+	+		+	2
Sum(+)	2	2	0	3	
Sum(−)	4	4	0	0	
Sum(S)	0	0	6	3	
Total	−2	−2	0	3	

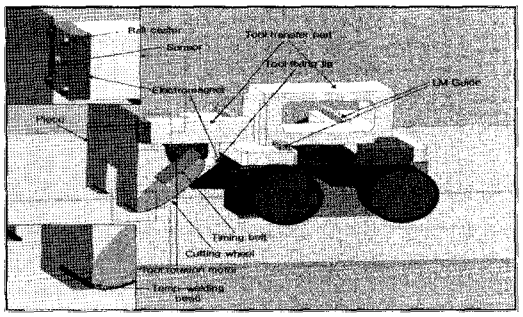


Fig. 9 Development of piece removing system based on optimum solution

2.5.3 Push's Matrix

Table 2 의 아이디어들 중 Table 3과 같이 Push's Matrix를 이용하여 기준(DATUM)을 선정하고 각 아이디어들을 기준과 비교하여 점수를 내고 평가해 본 결과 3번째 대안이 가스토치의 열원에 의해 발생하는 장비본체의 열 영향 문제를 해결하기 위한 최적의 해결책으로 선정하였다.

Fig. 9는 Table 2의 Push's Matrix를 통하여 얻은 최적의 해결책을 토대로 장비를 Inventor®을 이용하여3D 모델링 한 형상이다.

장비 경량화 문제를 해결하기 위해 본체의 끝단에 볼캐스터와 자석이 장착된 구조물을 설치 하고 그 구조물 하단에는 일정한 각도로 경사진 툴 고정지그를 장착하여 자석이 피스에 고정되어 모듈과 피스의 간격과 높이를 일정하게 유지시켜 주고 툴의 각도 또한 일정하게 유지시켜 줌으로써 툴 높이조절부와 각도조절부 없이 피스제거 작업이 가능하게 하였다.

또한 자석에 장착된 볼캐스터가 피스측면을 용이하게 구름이동 할 수 있게 하여 신속한 피스절단 작업이 가능하게 하였다. 따라서 복잡한 절단시스템(툴 높이조절부, 툴 각도조절부)을 장착하지 않으면서 신속한 피스절단 작업이 가능하고 경량화 된 피스제거 장비를 설계할 수 있었다.

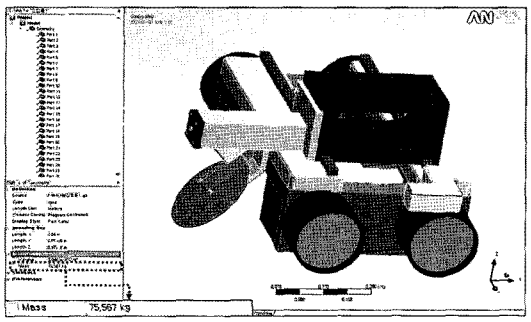


Fig. 10 Heat analysis of optimum solution

2.6 Verify(검증)

검증 단계는 최적화 단계를 거쳐 확정된 설계안이 현장에 실제로 적용되더라도 문제가 없는지를 측정 및 실험을 통해 확인하고, 혹시라도 발생할 수 있는 문제점에 대해서는 설계안을 보완하는 단계이다.

앞서 수행한 최적화 단계를 통하여 제시된 최적설계의 검증을 위해 ANSYS Workbench®을 이용하여 Measure단계의 측정방법과 같은 방법으로 기존의 용접비드 사상장비에 Z축(사상 툴 높이조절부)을 제거하고 피스제거를 하기위한 절단장비를 부착한 피스제거 장비와 중량비교 측정을 하였다.

그 결과 최적화 단계를 통하여 제시된 최적설계를 기반으로 한 피스제거 장비의 중량이 75.567kg으로 기존의 용접비드사상장비의 81kg 보다 오히려 5.433kg이 감소되어 선체 측면 작업을 위한 장비부착 시스템의 용량을 증가시키지 않아도 됨을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 ARIZ와 브레인스토밍을 사용한 6-Sigma DMADOV 기법에 기반을 두어 piece 제거용 동적 시스템에 대한 새로운 설계 알고리즘을 제시하였다.

'Define(정의)' 단계에서는 앞서 개발한 용접비드 사상장비에 piece제거 시스템 장착시의 문제점을 정확하게 파악하였고, 'Measure(측정)' 단계에서는 정의단계에서 도출된 문제점을 실험을 통하여 문제점의 정도를 파악할 수 있었다. 그리고 'Analyze(분석)' 단계에서는 측정단계에서 나온 데이터 분석을 통하여 문제의 정확한 원인을 알 수 있었고, 분석 단계에서 제시된 문제를 해결하기 위해서 'Design(설계)'

단계에서는 창조적 문제해결 알고리즘인 ARIZ를 이용하여 piece제거 시스템의 중량을 줄이기 위한 설계 계획을 모색하였고 시스템의 중량을 줄이기 위한 최종적인 해결책을 찾기 위한 필요한 방향을 제시하였다. 다음으로 Optimize(최적화)' 단계에서는 설계단계에서 도출된 해결책의 방향을 토대로 아이디어 발상법인 Brainstorming을 수행하고 이 Brainstorming을 통해 도출된 여러 가지 아이디어들을 아이디어 도출법의 한 방법인 Push's Matrix를 이용하여 최적의 해결책을 선정하였고, 마지막 'Verify(검증)' 단계에서 최적 설계된 장비를 초기 개선전의 장비와의 비교 시뮬레이션을 통하여 초기장비보다 경량화 됨을 보였다.

6시그마 DMADOV는 Define, Measure, Analyze, Design, Optimize, Verify의 단계를 거쳐 프로젝트를 수행하여 문제를 체계적으로 분석하고 해결한다는 점에서 매우 효율적인 방법론이라 할 수 있다. 또한 설계 및 최적화 과정에서의 ARIZ와 Brainstorming은 공학적인 문제해결 과정에 있어서는 서로 다른 성격을 갖고 있는 방법들이다. 하지만 이 두 가지 방법은 문제의 공식화된 해결과정, 다양한 아이디어의 수용이라는 점에서 연계되어 사용할 수 있었다. 따라서 ARIZ의 단점을 Brainstorming을 수행하여 보완하는 이러한 과정은 설계시 발생하는 문제뿐만 아니라 일상적인 문제들을 시행착오 없이 체계적으로 해결하는 효과적인 방법으로 사용할 수 있다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

이 논문은 2009~2010년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

(1) Lee, S. J., 2008, "A Study on Optimal Design of Piece Removing Automation System Using TRIZ and Brainstorming," *Journal of KSMTE*, Vol. 17, No. 6, pp. 43~48.

(2) Lee, S. S., 2003, *6-Sigma Guide Book*, B.I.C KOREA, KOREA.

(3) Cho, Y. D., 2007, "A Study on the Solution About Generating Problems in the Spindle Using DMADOVe Solnique of the Six-Sigma," *Journal of KSMTE*, Vol. 16, No. 6, pp. 15~20.

(4) Lawrence and KentAnsys, 2007, *Workbench Tutorial Release 11*, Schroff Development Corp., USA.

(5) Kim, J. S., 2008, *ARIZ Algorithm for Inventive Problem*, MyGuru Co., Ltd., KOREA.

(6) Lee, K. S., 2007, "A Study Development of a Continuously Variable Transmission for Bicycles by Theory of Inventive Problem Solving(TRIZ)," *Journal of KSPE*, Vol. 24, No. 7, pp. 75~82.

(7) Suh, S. W., 2007, "The Credible Design Method for Solving Engineering Problem using TRIZ and Brainstorming," *Journal of Korea Safety Management & Science*, Vol. 6, No. 3, pp. 287~302.