

DMU(Digital Mockup) 기법을 적용한 LNG 선박용 극저온 버터플라이 밸브 설계의 우수성 검증

이동훈^{†*}, 김덕은*, 김수영*, 박기영**

부산대학교 조선해양공학과*
(주)에이스브이**

3D Digital Mockup Application of Cryogenic Butterfly Valve, LNG Carrier

Dong Hun Lee^{†*}, Duck Eun Kim*, Soo Young Kim* and Gy Young Park**

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan University*
Ace-valve company**

Abstract

Recently, cryogenic butterfly valves for LNG carriers are actively developed by ship equipment companies. The dual core structure unlike usual butterfly valve has both translation and gyration motions of the disk of the valve assembly.

Especially, the ship equipment companies can not have overcome 2D design method; in addition, even though 2 years of development has passed, the drawing cannot be secured. In this research, for the cryogenic butterfly valves and the product design, 3D design method was introduced and DMU(Digital Mockup) was applied to complement the problems in 2D design and investigate application possibility of 3D design method.

※Keywords: DMU(디지털 목업), Cryogenic butterfly Valve(극저온 버터플라이 밸브), Space analysis(공간분석), DMU kinematics(디지털목업 운동학), Top-down design(하향식 설계)

1. 서론

오늘날 산업의 발전과 더불어 CAD 시스템의 개발은 산업계 전반으로 확산되어 신속한 정보공유에 크게 이바지하고 있다. 특히, DMU(Digital Mockup)는 파라메트릭 디자인 (parametric

design)을 근간으로 3D 모델링과 상호 협력적인 제4세대 제품개발 시스템을 구축하는 연결고리가 되고 있다. DMU는 기존의 초기 개발단계에서 제작되었던 실물 목업(Physical Mockup:PMU)에 상응하는 컴퓨터상의 모델로서 설계, 가공, 생산, 조립 단계의 등의 개발 과정을 초기의 제품 개발단계에서 병렬적으로 테스트하기 위하여 활용될 수 있다. 이를 도입함으로써, 궁극적으로 제품개발기간의 단축, 생산비용의 절감 그리고 제품 품질의 향상에 결정적인 역할을 한다(문두환 2002).

접수일: 2006년 4월 13일, 승인일: 2006년 8월 7일

† 교신저자: nice3392@pusan.ac.kr, 051-510-2754

DMU에 대해서는 연구 발표가 많으며(Gomes and Zachmann 1998), 특히 선진국의 항공기, 자동차 회사는 이를 잘 활용하고 있으며 국내에서도 도입하였거나 도입을 추진 중이다. Boeing, Chrysler, Ford, Mazda 등 외국 회사의 도입 사례와 국내 대형 제조업체의 도입 사례가 많이 알려져 있다(이강수와 이상헌 2003). 그러나 중소 제조 기업, 조선 기자재 업체들은 DMU를 적용하고 있는 사례는 소수에 불과하다. 특히 조선 분야에는 디지털 조선소 구축을 위한 물류 모델 프레임 워크(우종훈 등 2005)와 디지털 매뉴팩처링 기법을 이용한 절단기기의 검증된 가상 NC 시뮬레이터 구축(정호림 등 2005)등으로 훨씬 앞서가는데도 불구하고 실제로 사용되어야 할 DMU기반 구축 및 활용 가능성에 대해서 구체적인 제안이 미흡한 실정이다.

2. 극저온 이동식 이중편심 버터플라이 밸브 개발의 필요성 및 2차원 설계의 문제점

LNG 선박용 극저온 버터플라이 밸브(Cryogenic Butterfly Valve)는 밸브 시트가 금속인 경우 디스크의 회전운동 시에 디스크 끝단이 시트에 접촉되어 마모로 인한 손상으로 수밀성이 저하되는 문제가 발생 할 수 있다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위해 디스크가 회전 후 직선 운동을 하도록 하여 디스크가 용체 시트에 밀착하게 함으로서 Fig. 1과 같이 회전에 의한 시트의 손상을 방지하고 완벽한 수밀성을 동시에 개선한 메커니즘을 개발하였다.

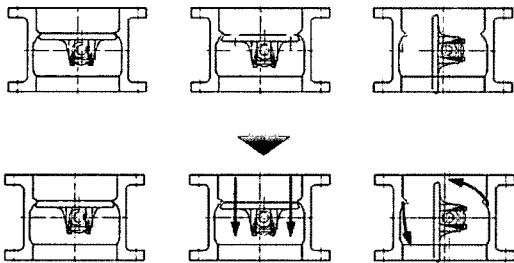


Fig. 1 Mechanism improvement of butterfly valve

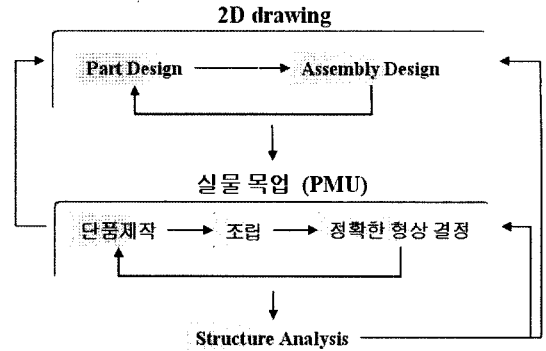


Fig. 2 Process of 2D design

니즘을 고안한 특허도 있다. 이와 같은 밸브구조를 이동식 이중편심 밸브라고 명명되었다(구윤희 2005).

극저온 이동식 이중편심 버터플라이 밸브는 현재 국내 조선 기자재 업체에서 개발하고 있지만 Fig. 2와 같이 기존의 설계방식으로 진행되었다. 하지만 아래와 같은 문제점으로 2년 이상 개발 기간이 소요되었으나 밸브에 관한 상세 도면은 완료되지 못했다.

- 복잡한 운동학적 표현의 어려움
- 밸브의 직관적인 설계의 어려움
- Physical Mockup 사용으로 인한 개발 기간 지연 및 개발 비용 증가

본 연구는 기존의 설계 방법을 대체하기 위해서 LNG 선박용 극저온 이동식 이중편심 버터플라이 밸브의 3차원 설계 적용으로 DMU 검증 및 적용 가능성 검토에 목적을 둔다.

3. 극저온 버터플라이밸브의 DMU 적용 및 검증

본 연구에서 사용되어진 부분적인 설계 프로세스는 각 단품의 모델링과 조립, 완성된 조립품(Product)의 검증단계로 나눌 수 있다. Fig. 3은 각 단품(Part)을 3차원 공간분석(3D Space Analysis)을 통해서 검증한 후 조립단계를 나타내고, Fig. 4는 완성된 조립품을 공간분석과 구조해

석을 통해 면밀히 점검하는 단계를 나타내고 있다.

- BOM 자동 생성 : 완성된 Product에 대해서 자동으로 자제명세서(BOM, Bill Of Material) 생성
- DMU kinematics Elements & Simulation : 타당한 구동 메커니즘에 따라 DMU kinematics를 각 Part 및 Product에 부여하고 시뮬레이션 실시.
- Space Analysis : 전체 목업을 이루는 부품들 간의 충돌 여부, 거리 및 접촉 정보 등을 파악하고 각각의 부품간섭에 대한 자세한 분석 정보 도출.

3.1 밸브의 3D 형상 모델링

형상 모델링 설계 방법은 하향식(Top-Down) 설계로 진행되었다. 일반적으로 제품(Product) 모델은 단품(Part)들을 조립하여 형성된다. 제품 조립 과정은 상향식이지만

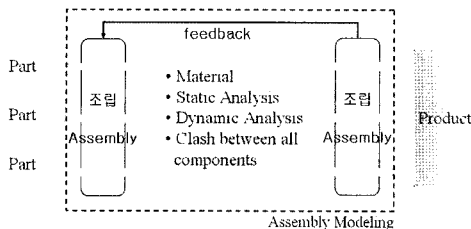


Fig. 3 Conceptive flowchart of product modeling process

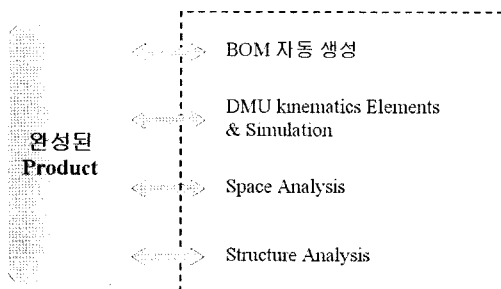


Fig. 4 Analysis process for cryogenic butterfly valve

설계과정은 요구기능을 상세화하고 확정하는 방향으로 이루어진다.

형상 모델링은 각 단품들에 구속조건들을 부여하고 조립(Assembly, Ass'y)을 하게 된다. 하위 조립품(Sub_Ass'y)이 완성되면 공간분석과 조립해체 시뮬레이션(Fitting Simulation)을 통해서 조립상의 문제점을 확인한다. Space Analysis는 다음과 같이 실시된다.

- 간섭검사(Clash Check) : 부품 상호간의 접촉과 충돌 여부를 정적 및 동적으로 조사
- 단면검사(Section Check) : 단면처리기능으로 간섭검사의 사실적인 시각화.
- 거리분석(Distance Analysis) : 부품 상호간의 간격 측정 (x,y,z축 거리, 최소거리)

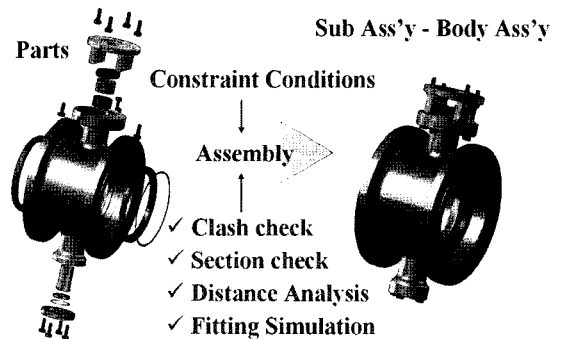


Fig. 5 Part modeling & sub assembly

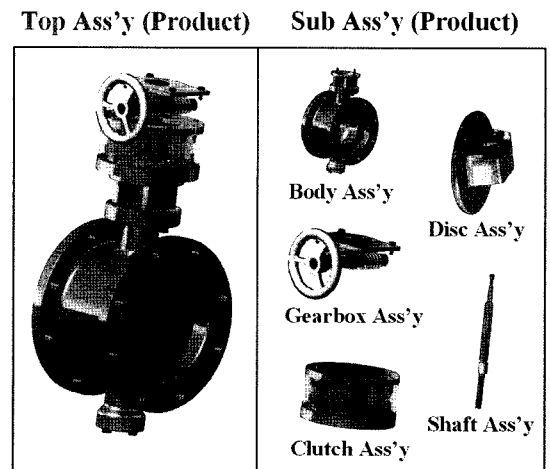


Fig. 6 Top & sub assembly

극저온 버터플라이 밸브는 Body, Disc, Shaft, Gearbox, Clutch Ass'y로 5개의 Sub_Ass'y로 나뉜다. Fig.5과 같이 Body_Ass'y의 단품 모델링 후 각각의 구속조건에 따라 조립과 Space Analysis, Fitting Simulation을 실시하게 된다. 완성된 Cryogenic Butterfly Valve(Top_Ass'y)와 여러 Sub_Ass'y는 Fig. 6과 같다.

**3.2 운동학적 요소 설정
(DMU Kinematics Elements)**

밸브의 운동학적 요소 설정은 DMU Kinematics Simulation을 위한 준비단계로서 구성 체결 요소 결정(운동의 종류 결정)을 하고, 각 부품들의 구속 조건을 설정한 후 운동범위에 따라 제약조건 설정 순서로 이루어진다.

Fig. 7에서 나타낸 Cryogenic Butterfly Valve는 회전하는 두 개의 축과 캠을 통해 디스크가 운동하게 된다.

축1과 축2는 각각 디스크의 병진과 회전운동에 기여한다. 축1은 캠과 같이 180도 회전하면서 디스크의 병진운동에 관여한다. 디스크가 병진운동할 때 간섭을 고려해서 4mm 전후 방향으로 움직이게 된다. 축2는 축1의 90도 회전 후 함께 90도 회전을 하게 되며, 이때 디스크의 가이드(Guide)와 맞물려 디스크를 회전시킨다. 이 운동들은 Clutch Gear Box에서 작동되어진다. Fig. 8에 이 과정을 표시하였다.

3.3 DMU Simulation

설정된 운동학적 요소에 대한 시뮬레이션으로 기구학 구성의 실행변수(Angle, Length등)의 변화량을 확인하고 동적인 간섭검사를 실시하였다. Fig. 9은 Reduce Gear1와 Reduce Gear2의 시뮬레이션 결과 값이다. Simulation Event는 전체 시뮬레이션 시간에 대한 측정 횟수를 나타낸다. 두 기어 잇수 차이로 인한 Reduce Gear1의 회전각도가 Reduce Gear2에 비해서 약 1.86배 크고, Reduce Gear2의 회전방향을 Angle축의 양의 방향으로 정의하였다. Cam의 회전과 Disc Guide에 의해서 디스크가 병진운동을 하게 되는데 Fig. 10는 Disc의 4mm 병진운동에 따른 시뮬레이션 결

과를 도표로 나타낸 것이다.

3.4 간섭 및 단면검사(Clash & Section Check)

간섭 및 단면 검사는 부품 상호간의 접촉과 충돌 여부를 사전 점검과 보다 사실적이고 효과적인 단면 시각효과를 위해서 사용한다. 3차원 모델에

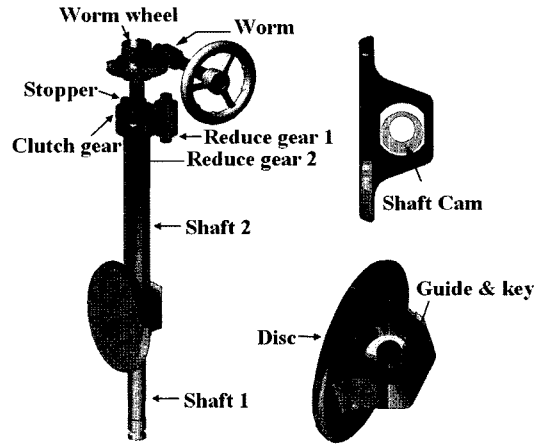


Fig. 7 Mechanism for kinematics elements

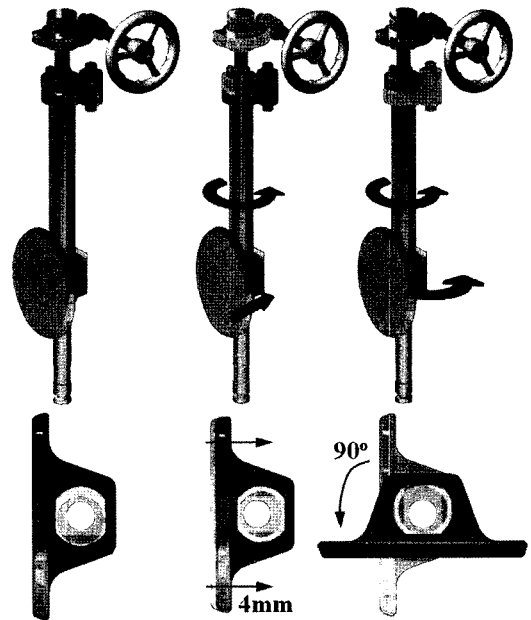


Fig. 8 Disc motion sequence of cryogenic butterfly valve

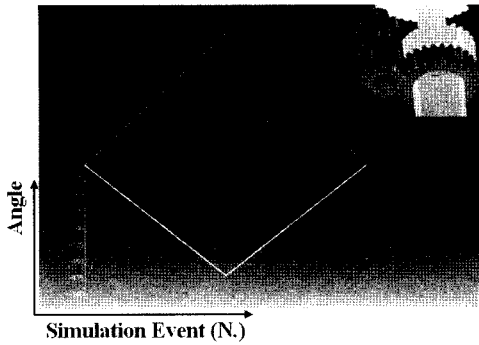


Fig. 9 Result of DMU simulation for reduce gear 1 and reduce gear 2

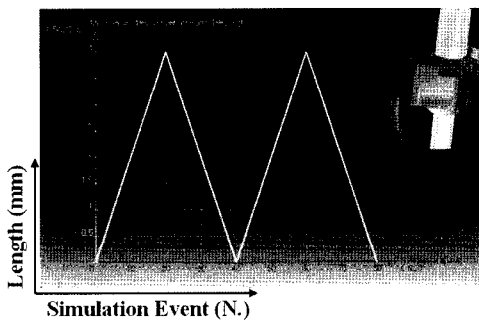


Fig. 10 Result of DMU simulation for shaft2 and disc ass'y

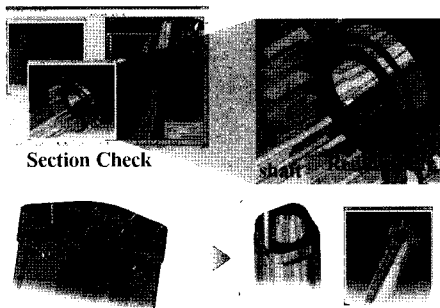


Fig. 11 Clash & section check about shaft2 & reduce gear 2

대해서 검사한 결과 Fig. 11과 같이 Shaft 2와 Reduce Gear 2의 간섭을 확인하여 오류를 수정하였다. 수정된 정보는 3차원 모델에 실시간으로 적용되며 2차원 도면으로 추출 가능하여 정확한 형상정보를 바탕으로 도면 관리가 가능하다.

3.5 거리 분석(Distance Analysis)

거리분석에서는 부품 상호간에 거리를 각 좌표 별로 측정하고 유지보수에 필요한 공간 확보 여부 및 동적 거리분석으로 간섭 검사를 정확한 수치로 확인하였다. 또한 시뮬레이션 중 최소 및 최대 거리를 측정하였다. 다음 사항에 대해서 Event 수는 총 40회와 왕복 1회로 측정하였다.

- 4mm 후방으로 이동하는 Disc와 Shaft2
- 디스크가 90도 회전할 때 Disc와 Body Seat
- Reduce Gear1과 Reduce Gear2

결과를 Fig. 12에 차례대로 나타내었다. 첫 번째 결과는 왕복운동 할 경우의 동적 운동그래프를 나타내며, Event 중에 최소거리가 항상 양의 값이므로 간섭이 없음을 나타낸다. 그래프의 나머지 인자들은 시뮬레이션 중 두 물체간의 x, y, z축의 상대거리와 병진운동으로 인한 이동거리 변화량이다. 두 번째 결과는 가장 우려되었던 Disc와 Body Seat의 거리 분석 결과이다. 결과 그래프는 Disc가 4mm 이동한 후 회전할 경우에 대해서 측정된 값이며, 최소거리가 양의 값을 나타내므로 간섭이 없음을 알 수 있다. 마지막 결과는

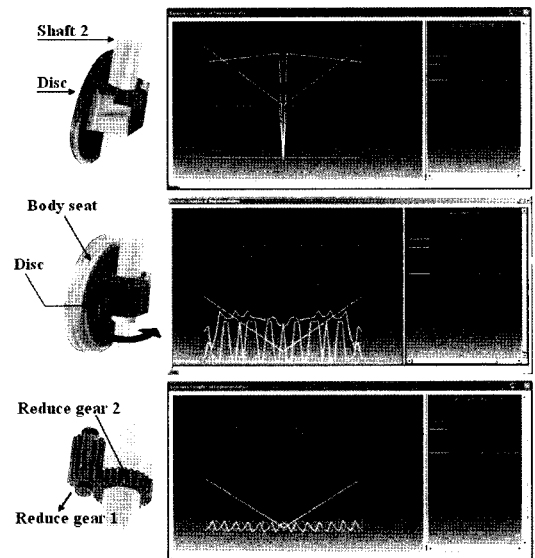


Fig. 12 Distance analysis for simulation

Reduce Gear 간의 거리 분석 결과 그래프이다. Event 중에 최소거리가 0을 유지하므로 기어 상호 간에 항상 접촉한 상태에서 작동함을 알 수 있다. 나머지 인자들이 일정한 값을 가지지 않으므로 기어의 한 일정부분이 아닌 여러 부분들이 연속적으로 접하면서 구동하게 되어 작동에는 무리가 없을 것으로 예상된다.

거리 분석에서 가장 고려되어야 하는 사항 중 하나가 간섭 유무인데 실험 결과들의 최소거리는 항상 양의 값을 가지므로 안정된 구동을 예상할 수 있다.

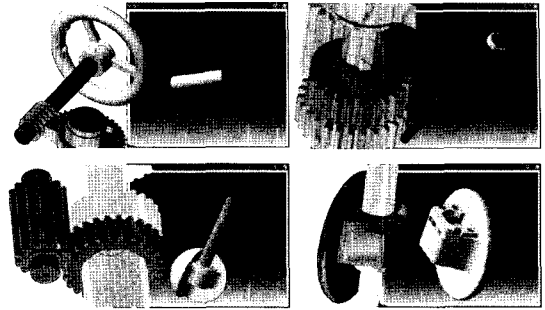


Fig. 13 Swept volume about simulation

3.6 Swept Volume

Swept Volume은 Simulation을 통해 각 단품 및 조립품의 운동 또는 이동 경로에 대한 Volume 생성을 의미한다. 간섭 및 단면 검사, 거리 분석과 동시에 사용하였으며, 시뮬레이션에 기여하는 중요 부품에 대해서 실시하였다. Fig. 13은 시뮬레이션 중 각 중요 부품들에 대한 Swept Volume 결과를 보여준다. 좌측 상단부터 시계방향으로 다음과 같은 부품들 적용하였다.

- Worm wheel & Worm
 - Rotation : Worm wheel 180°, Worm 7200°
- Clutch gear & Shaft1
 - Rotation : Clutch gear 180°, Shaft1 180°
- Disc Ass'y & Shaft2
 - Translation : Disc 4mm
- Reduce gear1 & Reduce gear2
 - Rotation : Reduce gear2 90°
 - ,Reduce gear1 167°
 - (The opposite direction of Reduce gear2)

3.7 조립·해체 시뮬레이션(Fitting Simulation)

부품의 조립 및 해체를 가상공간에서 미리 수행함으로써 2차원 설계에서 수행하지 못했던 조립 시 오류의 파악이 가능하다. 조립공정 시간을 단축할 수 있으므로 3차원 설계에서는 무엇보다 중요한 역할을 하는데, Sub_Ass'y인 Body Ass'y, Disc Ass'y, Clutch Ass'y, Gear Box Ass'y, Top_Ass'y 에 대해서 Fitting Simulation을 실시하였다. 그 중 Fig. 14은 Body_Ass'y의 Fitting

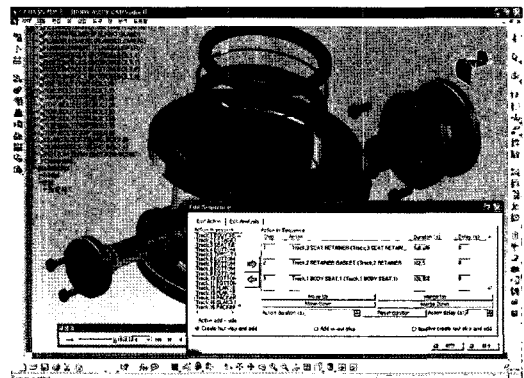


Fig. 14 Fitting simulation for body ass'y

Simulation을 나타낸다.

4. 극저온 버터플라이밸브의 DMU 적용 및 검증의 결과 분석

극저온 버터플라이 밸브의 DMU 적용 및 검증의 결과 분석을 간단히 요약하면 다음과 같다.

- DMU 시뮬레이션 결과를 운동 그래프 도출 및 거리 분석 그래프로 정량적 설계 spec.으로 활용 가능
- 2차원 설계에서 판단하기 어려웠던 Disc의 병진운동에서 정확한 거리 계산 가능 (4mm)
- Shaft 2와 Reduce Gear의 간섭 검사를 통한 2차원 설계상의 오류 수정
- Fitting Simulation 구현으로 조립 순서 및 조립 시 공간상 문제점을 점검
- DMU 및 Fitting Simulation에서 Swept

Volume 생성으로 부품의 운동경로 점검

- BOM(Bill of Material) 자동 생성

설계과정을 구체화하면 Fig. 15과 같이 2차원 설계에서는 기획에서 PMU까지 순차적인 설계가 이루어졌고, 3차원 설계에서는 개념설계와 구체설계 및 DMU 과정이 동시병행으로 진행되는 특징이 나타났다. 본 연구에서는 기획 및 개념설계의 기간은 2차원 설계와 동일한 것으로 가정한다. 이 과정으로 인해 Physical prototype 감소와 설계 변경 과정 및 기간을 단축할 수 있었다.

Fig. 16은 기존의 2차원 설계와 3차원 설계를 비교한 설계기간과 개발비용 및 투입인원의 상대 그래프이다. 설계기간과 개발비용에서 확실한 차이가 확인된다.

설계기간은 PMU 제작기간과 설계수정기간을 포함한 기간이고, 개발비용은 설계기간에 지출된 비용이다. 본 연구의 극저온 버터플라이 밸브 개발에서는 50% 개발기간 단축과 65% 개발비용절감의 결과로 3차원 설계의 우수성을 검증 할 수 있었다.

5. 결론

밸브의 3차원 형상 모델링을 수행함으로써 각 부품에 관련된 운동학적 요소 설정으로 DMU 시뮬레이션 구현과 조립/분해 시뮬레이션 및 Swept Volume 생성으로 기존의 2차원 설계에서 구현하기 힘들었던 복잡한 운동학적 표현을 해결하였다. Physical Prototype 감소와 더불어 동시병행 설계로 인한 제품 개발 비용 감소와 기간 단축을 할 수 있다.

3차원 설계는 조선 기자재 산업 전반에 걸쳐 DMU를 통한 빠르고 경제적인 설계 가능성 제시와 더불어 각 기업에 맞는 3차원 설계 프로세스 도입으로 기업 경쟁력 향상에 많은 도움이 될 것으로 예상되며, 제조 산업의 원동력을 확보를 위해서 3D CAD 기반의 PDM(Product Data Management) 및 PLM(Product Life-cycle Management)의 도입이 기업의 경쟁력 향상에 더욱더 도움이 될 것으로 예상된다. 선진국의 대표

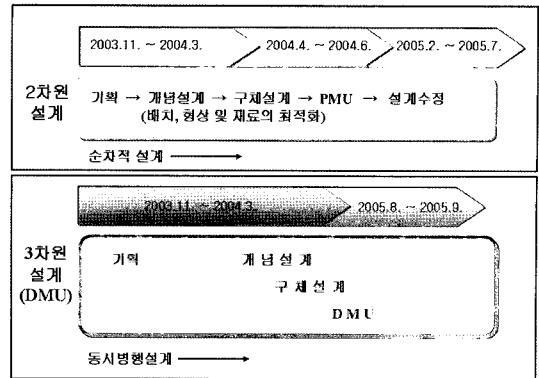


Fig. 15 The entire period of design and design process for 2D and 3D design

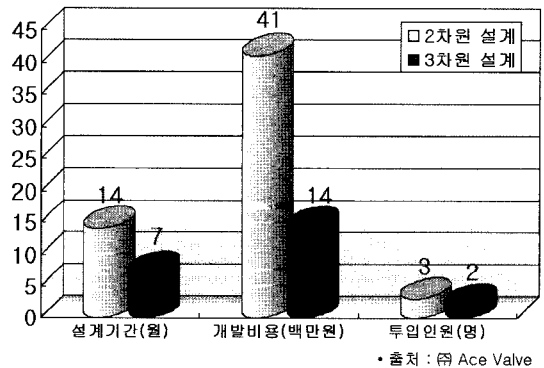


Fig. 16 Comparative graph of 2D and 3D design

적인 제조업 및 각종 기자재업체들은 이미 이러한 설계를 도입해 활용하고 있으며, 국내에도 항공 및 자동차업계에서는 활발히 추진 중에 있다.

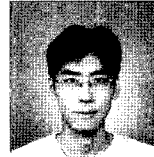
후 기

본 논문의 내용은 부산대학교 개발 과제인 'Spring-Energized Teflon 시트 개발' 연구의 일부분으로서 부산대학교 주관연구를 통하여 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- 구윤희, 2005 "이동식 2중 편심 버터플라이 밸브

- 개발,” 산업자원부 LNG Cargo Valve 연구회, pp. 5-7, 100-111.
- 문두환, 2002, The State-of-the-Art and R&D Perspectives on VR for Automobile Design, ‘CS788 인간과 컴퓨터 상호작용’ 특강 과제 최종 보고서, pp. 7,15,16.
 - 우종훈, 이광국, 정호림, 권영대, 신중계, 2005, “디지털 조선소 구축을 위한 물류 모델 프레임워크,” 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 2호, pp. 165-174.
 - 이강수, 이상현, 2003, “PDM 시스템에서 운용되는 DMU 시스템 개발,” 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제 8권, 제 3호, pp. 157-166.
 - 정호림, 임현준, 이장현, 최양렬, 김호구, 신중계, 2005, “디지털 매뉴팩처링 기법을 이용한 절단기기의 검증된 가상 NC 시뮬레이터 구축,” 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 1호, pp. 64-72.
 - Gomes, A. and Zachmann, G., 1998, "Integrating Virtual Reality for Virtual Prototyping," Proceedings of 1998 ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC98/CIE-5536.



< 이 동 훈 >



< 김 덕 은 >



< 김 수 영 >



< 박 기 영 >