

CAD/CAM/CAE/RP의 동시공학적 적용을 통한 휴머노이드 로봇의 쾌속 개발

박 근*, 김영석**, 김충석***, 박성호****

Rapid Development of a Humanoid Robot using Concurrent Implementation of CAD/CAM/CAE and RP

Keun Park*, Young-Seog Kim**, Chung-Seok Kim*** and Sung-Ho, Park****

ABSTRACT

In recent years, many robotics researches have been focused on developing human-friendly robots, that is, humanoid biped robots. The researches of humanoid robots include various areas such as hardware development, control of biped locomotion, artificial intelligence, human interaction, etc. The present work concerns the hardware development of a mid-size humanoid robot, BONOBO, focusing on rapid development of outer body parts with integrated application of CAD/CAM/CAE/RP. Most parts are three-dimensionally designed using 3D CAD, and effectively connected with CAE analyses using both kinematic simulation and structural analysis. In order to reduce lead time and investment cost for parts developments, Rapid Prototyping (RP) and CAM are selectively utilized for manufacturing body parts. These master parts are then replicated using the vacuum casting process, from which we can obtain plastic parts repeatedly. Through this integrated approach, the first prototype of BONOBO can be successfully developed with relatively low time and investment costs.

Key words : Humanoid robot, CAD/CAM/CAE, Concurrent engineering, Rapid prototyping, Rapid manufacturing, Vacuum casting

1. 서 론

종래의 로봇에 관한 연구는 주로 산업용 로봇의 개발에 관한 연구가 주류를 이루어왔다. 그러나 최근들어 인간의 모습을 갖는 휴머노이드 이족 보행 로봇에 관한 연구가 국내외적으로 많은 진전을 보였다. 휴머노이드 로봇의 개발을 주로 일본에서 많은 성과를 보였는데, 대표적인 예로 와세다 대학의 WABIAN 시리즈^[1], 혼다의 ASIMO^[2], 동경대학의 H6^[3], 일본 경제산업성(METI)에서 주도하여 개발한 HRP^[4] 등이 인간의 형태 및 크기를 가진 휴머노이드 로봇에 해당된

다. 한편 독일의 뮌헨 공대에서 JOHNNIE^[5]를 개발하였으며, 국내에서는 한국과학기술원에서 HUBO^[6]를 개발하였다. 상기의 휴머노이드 로봇은 인간과 비슷한 크기로 설계되었는데, 대부분 신장 1000 mm 이상, 중량 50 kg 이상이다. 한편 일본의 소니社에서는 소형 엔터테인먼트 로봇인 SDR 시리즈^[7]를 수년간에 걸쳐 개발하였는데, 이중 최신 모델인 QRIO의 경우 신장이 580 mm인 반면 중량은 6.5 kg로 획기적으로 감소시켜 휴머노이드 로봇의 상용화를 한발 앞당겼다는 평가를 받고 있다.

휴머노이드 로봇을 개발하기 위해서는 로봇 몸체의 기구학적 설계, 이족 보행 알고리즘의 정밀 제어, 영상 및 음성인식, 인공지능 등의 다양한 분야의 연구가 필수적이다. 본 연구에서는 이중 중형 크기의 로봇인 BONOBO(신장 947 mm, 중량 25.36 kg)의 개발을 위한 몸체의 설계 및 제작에 관해 기술하고자 한다. 특히 로봇 몸체부의 쾌속 개발을 위해 CAD/CAM/CAE

*교신저자, 정회원, 서울산업대학교 기계설계자동화공학부

**서울산업대학교 기계설계자동화공학부

*** (주)국동기계 개발실

**** (주)이오테크닉스 기술연구소

- 논문투고일: 2006. 03. 27

- 심사완료일: 2007. 01. 15

와 쾌속조형(Rapid Prototyping: RP)을 종합적으로 연계하여 진행하고자 한다. 쾌속 조형은 자동차, 가전, 전자, 항공 및 중공업 등 거의 모든 제조 관련분야에 걸쳐서 제품의 설계에서 해석, 생산에 이르는 기간과 노력을 절감하는 동시 공학의 필수적인 도구로써 사용되고 있다^[8-10].

본 연구에서는 보다 인간 친화적인 형상을 구현하기 위해 3차원 자유곡면에 기반하여 몸체부를 설계하였고, 설계된 3차원 CAD 형상정보를 사용하여 CAE 해석을 위한 요소망(mesh)을 생성하였다. 생성된 요소망을 활용하여 설계된 몸체부의 강도해석 및 주요 관절부의 기구학적 해석을 수행하였고, 이러한 과정을 통해 주요 설계변수들을 결정하였다. 또한 몸체부 시작품의 제작과정에서 소요되는 시간과 경비를 절감하기 위해 쾌속조형과 CAM 가공을 선택적으로 적용하였다. 제작된 시작품을 마스터 모델로 사용하여 진공주형 기법을 통해 성공적으로 몸체부를 제작할 수 있었고, 최종 부품과의 조립과정을 통해 휴머노이드 로봇의 시제품을 개발하였다.

2. 휴머노이드 로봇의 설계

2.1 설계 개요

본 연구를 통해 개발된 휴머노이드 로봇(BONOBO)은 신장 947 mm, 중량 25.36 kg의 중형 크기로 설계하였으며, 총 27개의 자유도로 구성되어 있다. Fig. 1에 로봇의 기본 구조를 도시하였으며, Table 1에 주요 사양을 요약하였다.

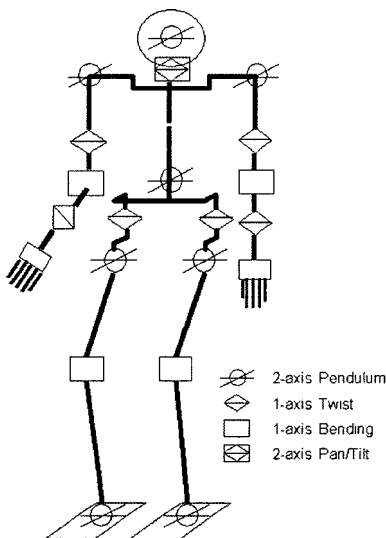
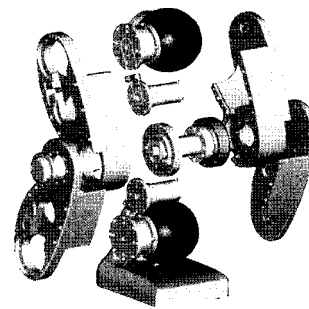


Fig. 1. Schematic configuration of BONOBO.

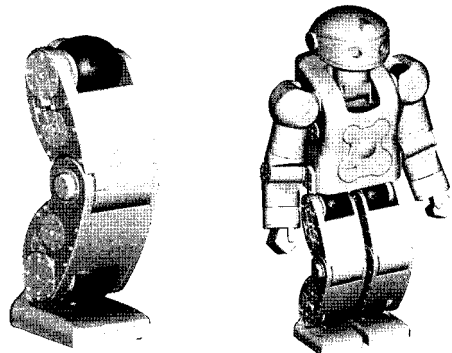
Table 1. Basic specifications of BONOBO

| Part | Length (mm) | Weight (kg) | DOF |
|-------|-------------|-------------|-----|
| Head | 227 | 1.439 | 3 |
| Body | 287 | 7.654 | 2 |
| Arm | 368 | 2.654×2 | 5×2 |
| Leg | 433 | 5.484×2 | 6×2 |
| Total | 947 | 25.36 | 27 |

개발된 휴머노이드 로봇은 DC 서어보모터를 사용하여 구동되도록 설계하였고, 감속비를 높이기 위해 하모닉 드라이브와 유성기어를 사용하였다. 모터의 구동 효율을 높이기 위해서는 충분한 강성을 유지하는 범위 내에서 중량을 최소화하는 방향으로의 구조 설계가 필요하다. 일반적으로 휴머노이드 로봇은 금속 골격상에 주요 부품을 조립하는 형태로 구성되며, 내충격성 및 외관 향상의 이유로 막판(sheet) 형태의 몸체부가 추가된다. 본 연구에서는 로봇의 구조적 효율을 높이기 위해 골격부를 생략하고, 몸체부에 직접 부품을 조립할 수 있도록 설계하였다. 몸체부는 기계적 특성이 우수한 ABS 수지를 사용하도록 설계하였으며, 조립 상태에서 구조적으로 강성을 유지할 수 있도록 입체적(solid) 형태로 형상을 설계해주었다.



(a) Exploded view of the right leg



(b) Assembled model

(c) Finally assembled shape

Fig. 2. Three-dimensional CAD model of BONOBO.

2.2 3차원 CAD를 사용한 형상모델링

본 연구에서는 CAD/CAM/CAE/RP의 통합적 연계를 위해 3차원 CAD를 사용하여 전체 부품을 입체적으로 설계하였다. 형상설계는 Pro/E 2001TM을 사용하여 수행하였다. 모터 및 감속기는 설계사양을 만족하는 기성 부품을 구매하여 사용하였으며, 해당 부품과의 조립성을 고려하여 몸체부 형상을 설계하였다. Fig. 2(a)에 우측 다리부분의 주요 부품을 3차원으로 설계한 형상을 도시하였고, (b)에 조립된 형상을 도시하였다. 마찬가지로 방법으로 로봇 전체에 대한 3차원 설계를 수행하였으며, 가상적으로 조립된 최종 형상을 Fig. 2(c)에 도시하였다.

3. 휴머노이드 로봇의 CAE 해석

3.1 로봇 몸체의 강도 해석

2.1절에서 기술한 바와 같이 로봇의 몸체 설계시 골격을 생략하고, 구조용 플라스틱 수지(ABS)로 제작된 몸체부에 직접 부품을 조립할 수 있도록 설계하였다. 금속 골격이 없는 상태에서 플라스틱 몸체만으로 하중을 지지하기 위해서는 설계변수의 면밀한 검토가 필요하며, 이를 위해 로봇 몸체의 강도 분석을 위한 CAE 해석을 수행하였다.

Fig. 3(a)에 하퇴부 해석을 위한 유한요소 모델을 도시하였다. 요소 크기는 5 mm로 설정하였고, 총 63800개의 절점과 41034개의 요소로 구성하였다. Fig. 3(b)에 하중 조건을 도시하였는데, 하단 돌출부를 구속시키고 상단 돌출부에 하중이 부과되는 것으로 경계조건을 설정하였다. 하중은 보행자세에서 로봇의 체중이 하퇴부 상단에 집중되는 것으로 가정하여 부과하였고, 이때의 면압은 12.7 kPa로 계산되었다. 소재는 진공주형용 ABS 수지(PX223 HT)이며, 강도해석에 필요한 기계적 물성치는 Table 2와 같이 요약된다. 해석은 ANSYS 7.0TM을 사용하여 수행하였다.

Table 2. Mechanical properties of ABS PX223 HT

| Property | Content |
|------------------------|---------|
| Elastic modulus (GPa) | 2.30 |
| Poisson's ratio | 0.38 |
| Tensile strength (MPa) | 38~42 |
| Specific weight | 1.10 |

Fig. 4(a)에 해석을 통해 계산된 유효응력 분포를 도시하였다. 최대 응력은 5.13 MPa로 계산되었으며, Fig. 4(a)의 'A' 부에 응력이 집중되었음을 확인할 수

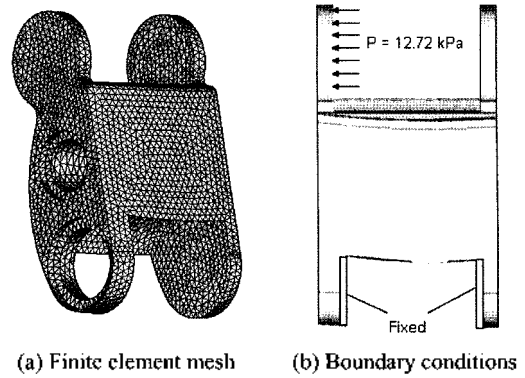


Fig. 3. FE analysis model for the lower leg.

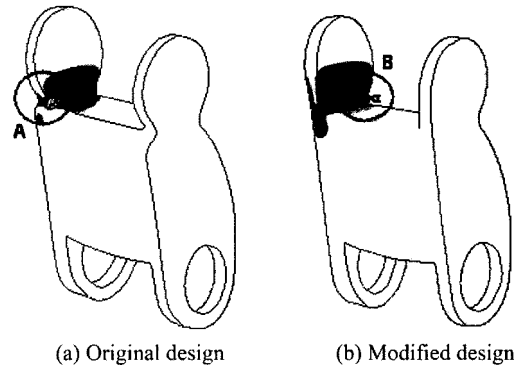


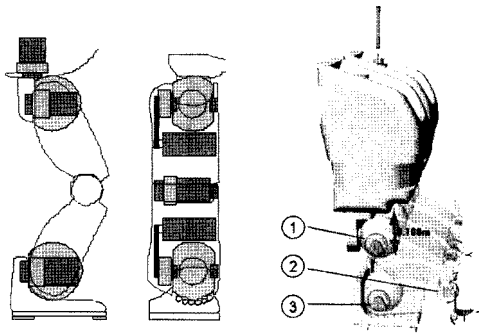
Fig. 4. Distributions of the von-Mises stress.

있었다. 이러한 응력 집중을 완화시키기 위해 'A'부의 오목한 부분을 제거하여 설계를 보완하였다. Fig. 4(b)에 수정된 해석모델에 대한 해석결과를 도시하였다. 이때의 최대 응력은 2.73MPa로 계산되었으며, 기존 모델의 53.2%로 절감되었음을 알 수 있다. 또한 Fig. 4(b)의 'B' 부에 표시된 바와 같이 응력의 집중 현상이 다소 완화되었음을 확인할 수 있다. 이러한 과정을 통해 다른 몸체부에 대해서도 강도해석을 수행하여 응력분포를 예측함으로써 설계에 반영해주었다.

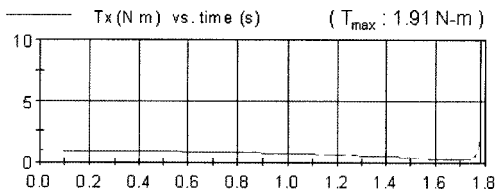
3.2 모터 선정을 위한 기구학적 해석

로봇의 각 관절부에는 모터가 삽입되어 구동된다. 이때 모터의 용량이 부족하면 로봇의 구동에 제약을 받게 되므로 적절한 용량의 선정이 필수적이다. 이를 위해 본 연구에서는 설계된 로봇의 기구학적 형상과 중량을 고려하여 기구학적 해석을 수행하였다.

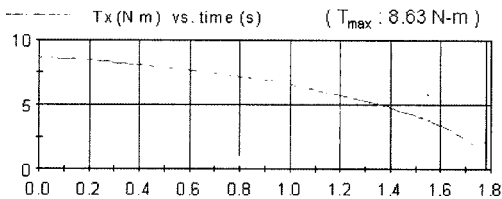
Fig. 5에 하반신 부분의 해석 모델을 도시하였다. 한쪽 다리부에 대해서만 살펴볼 때 Fig. 5(a)에 도시된 바와 같이 영치부분 3개(roll, pitch, yaw), 무릎부분



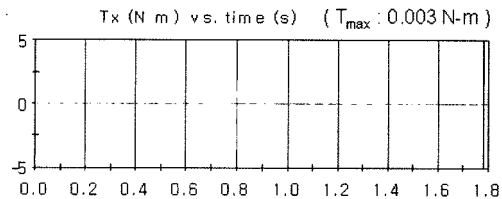
(a) Actuator configuration (b) Kinematic model
Fig. 5. Analysis model for kinematic simulation.



(a) Required torque profile at the hip joint



(b) Required torque profile at the knee joint



(c) Required torque profile at the ankle joint

Fig. 6. Analysis results of kinematic simulation.

Table 3. Calculated maximum torque for each motor

| Part | DOF | Maximum torque (N-m) | Safety factor |
|-------|-------|----------------------|---------------|
| Waist | Roll | 10.3 | 5.16 |
| | Pitch | 16.8 | 3.16 |
| | Yaw | 12.8 | 4.15 |
| Knee | Pitch | 36.0 | 1.48 |
| Ankle | Roll | 15.8 | 3.36 |
| | Pitch | 20.3 | 2.62 |

1개(pitch), 발목부분 2개(roll, pitch)의 자유도로 구성 되어 있으며, 이를 기초로 Fig. 5(b)와 같이 기구학적 해석을 위한 해석 모델을 완성하였다. 해석은 모터에 부하가 많이 걸리는 직립 동작에 대해서 수행하였다. 즉 Fig. 5(b)와 같이 앉아 있는 상태에서 로봇 상체가 수직으로 상승하는 과정을 해석하였다. 상체부의 중량은 15 kg로 설정하였고, 상승 속도는 0.1 m/sec로 부과하였다. 우선 상승 과정에서의 관절별 각속도를 계산하고, 해당 각속도를 구현하기 위한 관절별 필요 토크를 계산해주었다. 해석은 visualNastran™을 사용하여 수행하였으며, 총 1.8초 동안의 응답을 조사하였다.

Fig. 6에 관절별로 소요되는 토크의 변화를 비교 하였다. 무게중심으로부터 가장 멀리 떨어져 있는 무릎 관절에서 가장 많은 토크(최대 8.63 N-m)가 필요한 것으로 분석되었다. 반면에 무게중심과 거의 일치되도록 설계된 엉치부와 발목부에서는 현 동작에서는 많은 토크가 소요되지 않음을 확인할 수 있었다. 이와 유사한 방법으로 다양한 동작에 대해 구동 해석을 수행하였으며, 해석 결과를 토대로 각 관절의 모터 용량을 산정하여 설계에 반영하였다. Table 3에 최대 관절별 모터 용량 및 설계사양을 요약하였다. 모터는 Faulhaber 3257G 모델을 사용하였으며, 감속비 1/100의 감속기 부착후 최대 토크는 53.1 N-m이다.

4. 로봇 몸체부의 폐속 제작

4.1 CAM/RP를 이용한 마스터 모델 제작

설계된 몸체부를 신속하게 제작하기 위해 CAM 가공과 폐속조형을 병행하여 적용하였다. 폐속 조형은 이스라엘 Objet Geometries 사의 Eden330® 장비를 사용하여 제작하였다. Eden330®은 ABS 계열의 광경화성 수지를 재료로 사용하여, 다수개의 노즐을 통해 분사된 수지에 UV를 조사하여 경화시켜준다. 이때 경화층의 두께는 16-20 μm의 범위로 비교적 정밀한 제품의 제작이 가능하다.

Fig. 7에 제작된 RP 시작품을 사용하여 1/2 크기로 제작된 로봇의 하체부의 조립 형태를 도시하였다. 제작된 시작품을 사용하여 주요 설계사양 검토, 부품과의 간섭 체크 및 조립성 평가를 수행하여 최종적인 설계를 완성하였다.

최종적으로 완성된 설계안을 바탕으로 진공주형을 위한 마스터 모델을 제작하였다. 시작품의 형상, 크기 및 가공에 소요되는 시간 및 경비를 종합적으로 고려하여 CAM과 RP를 선별적으로 사용하였다. 일반적으로



Fig. 7. RP prototype for the lower body assembly.

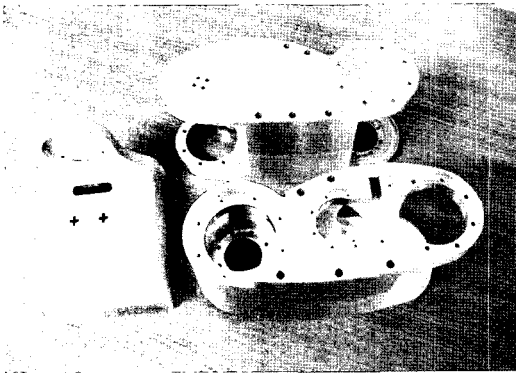


Fig. 8. CAM prototype for the lower body.

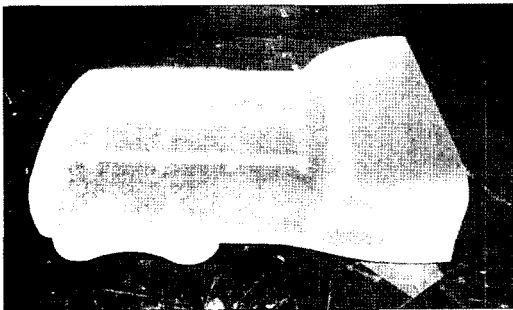


Fig. 9. RP prototype for the back cover.

로 단면을 적용하여 제작하는 쾌속조형의 경우에는 시작품의 표면조도가 좋지 않은 관계로 CNC 가공에 의한 시작품 제작을 우선적으로 고려하였다. Fig. 8에 3차원 CAM 가공을 통해 제작된 다리부 및 발의 시작품을 도시하였다. 반면에 Fig. 9에 도시한 몸체부의 경우는 제품의 크기가 상대적으로 크고 가공깊이가 깊은 관계로 쾌속조형을 사용하여 시작품을 제작하고, 후처리과정을 통해 시작품의 표면조도를 향상시켜주었다.

4.2 진공주형을 사용한 3차원 복제

진공주형은 형틀 내에 액상의 실리콘 수지 혹은 금

속 분말 등의 필러를 섞은 액상 수지형 재료로 충전하고 진공상태에서 탈포한 후 고화시켜 원하는 형상을 얻는 방법이다. 이때 진공상태의 탈포 과정에서 잔류 공기를 모두 제거함으로써 형틀 내의 구석구석까지 수지를 충전시켜 결과적으로 충전성을 향상시켜준다. 본 연구에서는 CAM 혹은 RP를 사용하여 제작된 마스터 모델에 실리콘 수지를 주입하여 실리콘 몰드를 제작하는 과정 및 제작된 실리콘 몰드를 사용하여 제품을 3차원적으로 복제하는 과정에서 진공주형 기법을 응용하였다. Fig. 10에 실리콘 몰드 제작을 위한 진공주형 과정의 개략도를 도시하였다. 제작된 마스터 모델에 수지 주입구(gate)를 설치하고 형틀 내에 고정시킨 후 액상의 실리콘을 주입하여준다. 주입이 완료되면 혼입한 공기와 미충전 부분의 잔류공기를 진공상태에서 탈포한 후 고화시켜 최종 형상을 완성한다. 이후 완성된 몰드를 형틀로부터 제거한 후 적절히 분할하여 몰드를 제작한다. Fig. 11에 이러한 과정

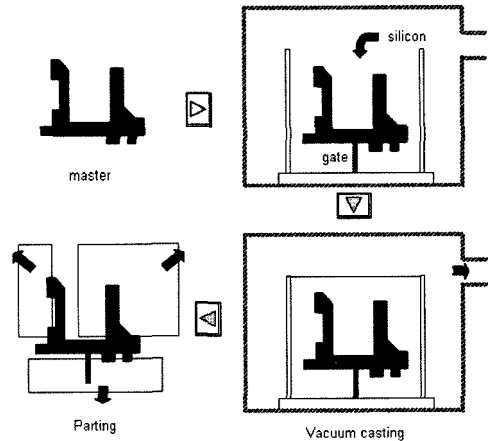


Fig. 10. Schematic description for the vacuum casting procedure of the Silicon-rubber mold^[11].

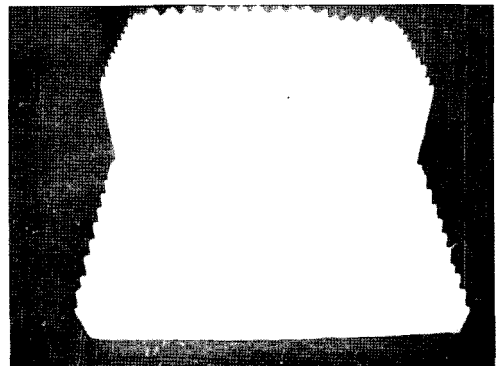


Fig. 11. Silicon-rubber mold set for the upper leg.

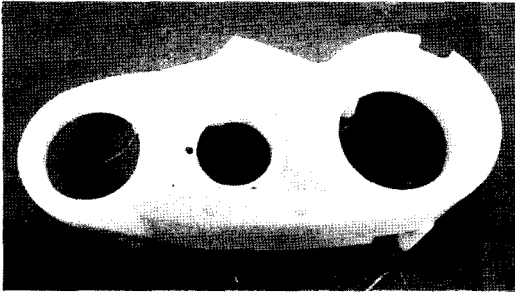


Fig. 12. ABS replica of the upper leg cover part.

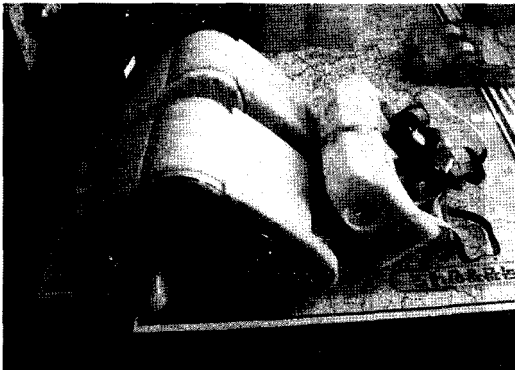


Fig. 13. Assembly of the lower body.

을 거쳐 제작된 로봇 대퇴부의 실리콘 몰드를 도시하였다.

제작된 실리콘 몰드를 사용하여 다시 진공주형 공정을 통해 플라스틱 복제품을 제작하였다. 소재는 성형성 및 가공성이 좋고 비강도가 우수한 진공주형용 ABS 수지(PX223 HT)를 사용하였다. Fig. 12에 Fig. 11에 도시된 실리콘 몰드를 사용하여 제작된 대퇴부에 대한 ABS 복제품을 도시하였다. 이러한 과정을 통해 다른 부위에 대해서도 제작을 하였으며, 후가공을 거쳐 모터 등 다른 부품과 조립하였다. Fig. 13에 최종적으로 조립된 하체부의 사진을 도시하였다.

4.3 제작된 로봇의 성능 평가

앞절에서 기술한 바와 같이 제작된 몸체부를 제작하여 도장과정을 거친 후 부품과 조립하여 Fig. 14와 같이 최종적으로 휴머노이드 로봇의 시제품을 완성하였다. 완성된 시제품의 경량화 여부를 평가하기 위해 Table 4에 현존하는 각종 로봇에 대한 신장 및 중량을 비교하였다. BONOBO의 경우 신장이 0.95 m, 중량이 25.3 kg으로, 신장이 다소 작은 부분을 감안하더라도 골격을 갖춘 기존 로봇에 비해 상당부분 경량화되었음을 확인할 수 있다.

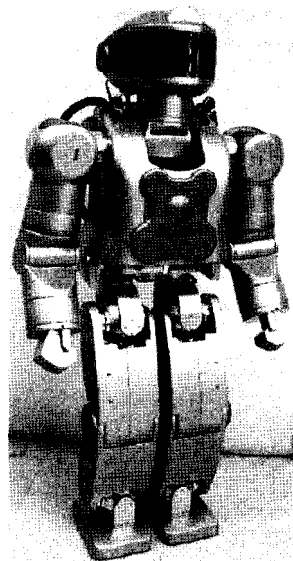


Fig. 14. Finally manufactured prototype of BONOBO.

Table 4. Comparison of basic specifications for various humanoid robots

| Robot | Height (m) | Weight (kg) |
|------------|------------|-------------|
| WAIBAN-RII | 1.89 | 131.4 |
| ASIMO | 1.30 | 45.0 |
| H6 | 1.37 | 55.0 |
| HRP | 1.60 | 130.0 |
| HUBO | 1.20 | 55.0 |
| QRIO | 0.58 | 6.5 |
| BONOBO | 0.95 | 25.3 |

개발된 휴머노이드 로봇은 전진 및 후진 보행이 가능하며, 현재의 보행속도는 0.72 km/hr이다. 또한 발바닥에 접촉면 센서를 탑재하여 이동시에 무게중심을 계산하여 균형을 유지할 수 있도록 제어하였고, 자이로 센서를 이용한 자세 안정화 알고리즘을 구현하였다. 그밖에 영상 인식 및 음성 합성 기술을 적용하여 인간 친화적인 휴머노이드 로봇으로서의 기능을 실현할 수 있도록 개발되었다.

5. 결 론

이상으로 본 연구에서는 휴머노이드 로봇의 개발 과정에서 몸체부의 보다 효율적이고 신속한 개발을 위해 3차원 CAD/CAM/CAE 및 쾌속조형과 진공주형을 복합적으로 적용하였다. 3차원 자유곡면에 기반하

여 설계된 CAD 형상정보를 사용하여 CAE 해석을 수행하여 주요 설계변수들을 결정하였고, 쾌속조형과 CAM 가공을 선택적으로 적용하여 몸체부 시작품을 신속하고 경제적으로 제작하였다. 또한 제작된 시작품을 마스터 모델로 사용하여 진공주형 기법을 통해 3차원적으로 복제하였고, 최종 부품과의 조립과정을 통해 휴머노이드 로봇의 시제품을 성공적으로 개발할 수 있었다. 이러한 과정에서 CAD/CAM/CAE와 RP/RT를 동시공학적으로 활용함으로써 제품 개발에 들어가는 시간과 비용을 획기적으로 절감할 수 있었다. 또한 골격구조를 생략하고 몸체부만으로 강성을 유지하게 함으로써 로봇의 경량화를 효과적으로 추구할 수 있었다.

향후에는 제작된 로봇의 플랫폼을 사용하여 보행 속도 향상 및 다양한 동작 구현에 관한 연구를 진행할 계획이다. 또한 대체 재료의 검토 및 설계 변경을 통한 로봇의 경량화를 위한 연구도 지속적으로 수행하여 개발된 휴머노이드 로봇의 구동 효율을 제고시킬 전망이다.

후 기

본 연구는 교육인적자원부·산업자원부·노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학 육성사업의 연구결과로 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Yamaguchi, J., Soga, E., Inoue, S. and Takanishi, A., "Development of a Biped Humanoid Robot - Control Method of Whole Body Cooperative Dynamic Biped Working", *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 368-374, 1999.
2. Sakagami, S., Watanabe, R., Aoyama, C., Matsunaga, S., Higaki, N. and Fujimura, F., "The Intelligent ASIMO: System Overview and Integration", *Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2478-2483, 2002.
3. Nishiwaki, N., Sugihara, T., Kagami, S., Kanehiro, F., Inaba, M. and Inoue, H., "Design and Development of Research Platform for Perception-action Integration in Humanoid Robot: H6", *Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1559-1564, 2000.
4. Kaneko, K., Kanehiro, F., Kajita, S., Yokoyama, K., Akachi, K., Kawasaki, T., Ota, S. and Isozumi, T., "Design of Prototype Humanoid Robotics Platform for HRP", *Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2431-2436, 2002.
5. Gienger, M., Loffler, K. and Pfeiffer, E., "Towards the Design of Biped Jogging Robot", *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 4140-4145, 2001.
6. Kim, J. Y., Park, I. W., Lee, J., Kim, M. S., Cho, B. K. and Oh, J. H., "System Design and Dynamic Walking of Humanoid Robot KHR-2", *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1443-1448, 2005.
7. Kuroki, Y., Ishida, T., Yamaguchi, J., Fujita, M. and Doi, T., "A Small Biped Entertainment Robot", *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Humanoid Robotics*, pp. 181-186, 2001.
8. 윤정호, 전형환, 안상훈, 조명철, "3차원 설계/RP/CAE/3차원 금형설계/제작 정보일원화시스템 개발", 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제2권, 제1호, pp. 35-43, 1997.
9. Park, K., Yoon, J. W., Yang, D. Y. and Cho, J. R., "Concurrent Engineering Approach to the Die Design of Metal Forming Processes Using Rapid Prototyping and Finite Element Analysis", *Proc. 30th Int. Sym. Automotive Tech. Automation*, Florence, Italy, 1997.
10. Yang, D. Y., Ahn, D. G., Lee, C. H., Park, C. H. and Kim, T. J., "Integration of CAD/CAM/CAE/RP for the Development of Metal Forming Process", *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 125-126, pp. 26-34, 2002.
11. 최상련, 김천기, 박근, 오철호, "선택적 레이저 소결법을 이용한 기어박스의 정밀주조기술 개발", 한국공작기계학회지, 제9권, 제1호, pp. 30-37, 2000.



박 근

1992년 한국과학기술원 정밀공학과 학사
 1994년 한국과학기술원 정밀공학과 석사
 1999년 한국과학기술원 기계공학과 박사
 1999~2002년 삼성전기(주) 선임연구원
 2002년~현재 서울산업대학교 기계설계
 자동화공학부 조교수
 관심분야: 유한요소해석, 폐속조형,
 Micro/nano manufacturing



김 영 석

1980년 서울대학교 기계공학과 학사
 1983년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 1988년 한국과학기술원 기계공학과 박사
 1984~1991년 서울산업대학교 조교수
 1991~1996년 서울산업대학교 부교수
 1996~현재 서울산업대학교 교수
 관심분야: 휴머노이드로봇, 산업용자동화
 및 제어장치, 정밀기계시스템설계



김 충 석

2000년 서울산업대학교 기계설계학과
 학사
 2002년 서울산업대학교 기계설계학과
 석사
 2002년~현재 (주)극동기계 개발실 연구원
 관심분야: 기구설계, CAD



박 성 호

2005년 서울산업대학교 기계설계자동화
 공학부 학사
 2005년~현재 한진KPS(주) 영광1사업소
 근무
 관심분야: CAD, CAE, 폐속조형