

주입형 PGA를 이용한 휴머노이드 로봇의 넘어짐 자세 개선

Improvement of Falling Motions for Humanoid Robot Using Injection PGA

안광철¹ · 조영완² · 서기성¹

Kwang-Chul An · Young-Wan Cho and Ki-Sung Seo

¹서경대학교 전자공학과

E-mail: {dockan, ksseo}@skuniv.ac.kr

²서경대학교 컴퓨터공학과

E-mail: ywcho@skuniv.ac.kr

요 약

휴머노이드 로봇이 넘어질 경우, 충격에 의한 손상이 발생할수 있다. 이를 최소화하는 넘어짐 자세의 생성을 위하여 개선된 PGA 기반의 탐색기법을 제안한다. 다목적함수를 고려한 군집 간 이주방식의 효율적 조합을 통해 넘어짐 충격을 최소화하는 각 관절 궤적을 구할수 있도록 하였다. 제안된 기법의 검증은 위하여 Sony QRIO 로봇에 대해서 ODE 기반의 Webots 시뮬레이션을 이용하여 실험을 수행하였다.

키워드 : Falling Motion Generation, Humanoid Robot, Multi Objective, Injection Parallel Genetic Algorithm

1. 서 론

휴머노이드 로봇의 적용 범위가 넓어지면서 활용도가 증대되고 있는 반면, 보행로봇의 특성상 갑작스런 지형 변화나 외력에 의해 로봇이 전복되거나 쓰러져 손상을 입을수 있는 문제점이 존재한다.

더욱이 이족보행 휴머노이드 로봇의 경우, 지면을 지지하고 있는 영역이 좁아 이러한 문제점은 가중되어지며, 로봇을 보호할 수 있는 넘어짐 자세를 필요로 한다 [1,2].

지금까지 넘어짐 자세 연구는 사람의 동작을 모방하여 반복적인 시뮬레이션을 통해 경험적으로 구하는 방식[1] 또는 특별한 구조의 무릎관절을 이용한 제어방법[2] 등이 있다. 이들 방법의 문제점은 구한 결과가 최적에 가까운 자세인지를 판별하기가 어렵고[1], 전체 관절 움직임 조합에 의해 생성될수 있는 충격량 최소화 자세와는 거리가 있다[2]. GA를 이용하여 관절 움직임의 최적 조합을 설계하는 시도가 있었으나, 복수개의 목적 특성을 충분히 반영하지 못하고 있다[3].

한편, 주입형 섬모델을 이용하여 각 군집에 대해서 각기 다른 수준의 해상도를 가진 적합도 함수를 사용함으로써, 복잡도가 높은 문제에 대해 해의 공간을 분할하여 빠르고 신뢰성 있는 탐색을 유도한 시도가 있다[4].

본 연구에서는 PGA(Parallel Genetic Algorithm)[4,5] 기반에서 다목적 함수를 고려한 군집 간 효율적 이주 방식의 조합을 통해 넘어짐 자세의 자동 생성 기법을 제안한다. 충격량을 최소화하는 넘어짐 자세는 관절공간에서

각 관절각의 적합한 궤적을 구한다. 제안된 기법의 검증을 위하여 Sony QRIO 로봇에 대해서 ODE 기반의 물리적 특성을 포함하고 정교한 시뮬레이션이 가능한 Webots[6,7]을 이용하여 실험을 수행하였다.

2. 휴머노이드 로봇의 넘어짐 자세

2.1 휴머노이드 로봇 모델

넘어짐 자세 생성을 위한 휴머노이드 로봇 모델은 Sony사의 QRIO(Quest for Curiosity)를 사용하였다. QRIO는 크기가 260(W) x 190(D) x 580(H)mm, 중량은 약 6.5kg로서 전부 38개의 관절로 구성된다[1].

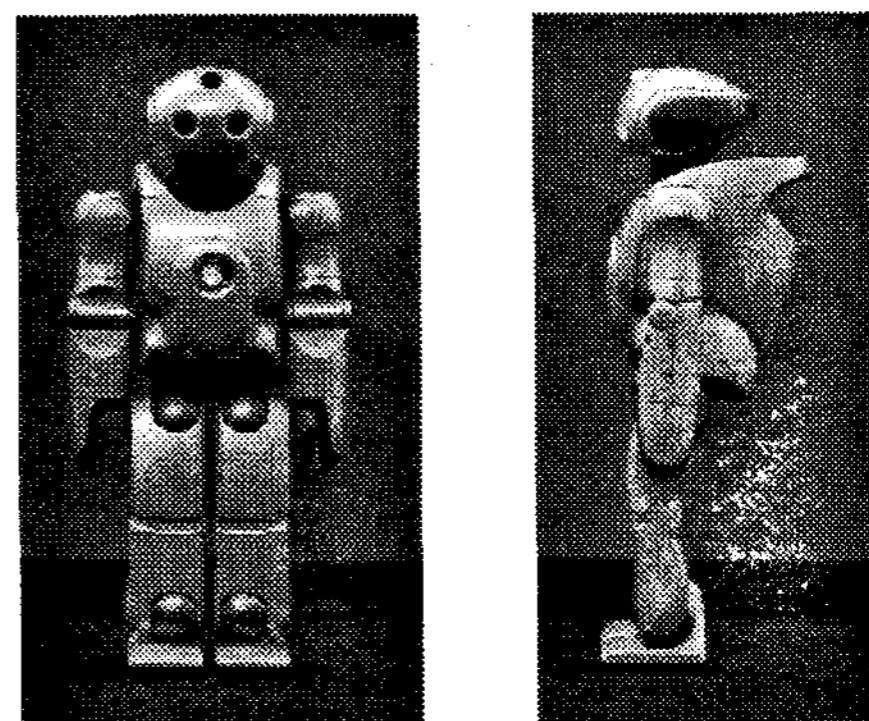


그림 1. Sony QRIO 로봇

2.2 넘어짐 자세의 관절 좌표계 표현

휴머노이드 로봇의 넘어짐 자세는 각 관절각의 조합으로 구성된 집합들로 나타내어진다. 또한 전체 넘어짐 자세는 한 시점에서의 관절값 집합이 여러 구간점에서(t_1, t_2, \dots, t_n) 전체 집합으로 확장되어야 하므로, 전체 해 공

감사의 글 : 이 논문은 2007년 정부재원(교육 인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2007-314-D00176)

간은 매우 방해해진다(그림 1).

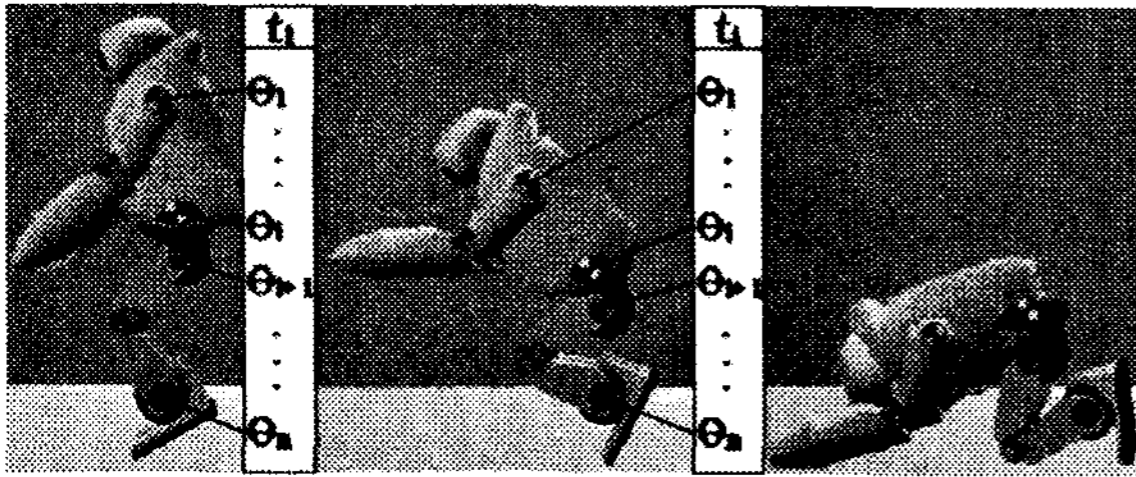


그림 2. 자세 생성을 위한 관절각 조합

3. 다목적 함수와 다중 군집

3.1 목적 함수

넘어짐 자세 생성을 위한 목적 함수의 구성은 3가지로 분류 된다. CoM의 원점으로부터 변화된 CoM의 거리 차와 압력센서 값을 지면과 닿는 순간부터 일정 스텝 동안 누적시킨 값, 그리고 관절 토크 값의 누적으로 구성하였다.

$$- \sum_{i=1}^m \sqrt{(Ocx_i - Cx_i)^2 + (Ocz_i - Cz_i)^2} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m (1/Hsen_i + 1/Esen_i + 1/Ksen_i) \quad (2)$$

$$1 / \sum_{i=1}^m T_{joint\ i} \quad (3)$$

O_{cx} : CoM의 X축 원점

O_{cz} : CoM의 Z축 원점

C_x : CoM X축 좌표

C_z : CoM Z축 좌표

$H_{sen}, E_{sen}, K_{sen}$: 손, 팔꿈치, 무릎의 압력 센서값
(‘0’일 경우, ∞ 로 가정)

T_{joint} : 관절 토크 값

식 (1)은 로봇의 체공 범위를 줄여 중력 가속도에 따른 운동에너지를 감소시키고 식 (2)의 압력 센서 값은 로봇의 직접적인 충격을 감지하는 역할을 한다. 식 (3)은 무리한 움직임과 체공시간 동안의 불필요한 동작을 억제시킬 수 있다.

3.2 군집과 이주방식의 구성

PGA는 전체개체를 다중 군집으로 나누어 구성하고 분리적으로 진화시켜서 다양성을 확보할수 있는 장점이 있다. 다중 군집은 군집 간 개체의 이주 방식에 따라 분류되며, 그림 3에는 격리형과 원형이주 두 가지 형태의 구성이 나와있다.

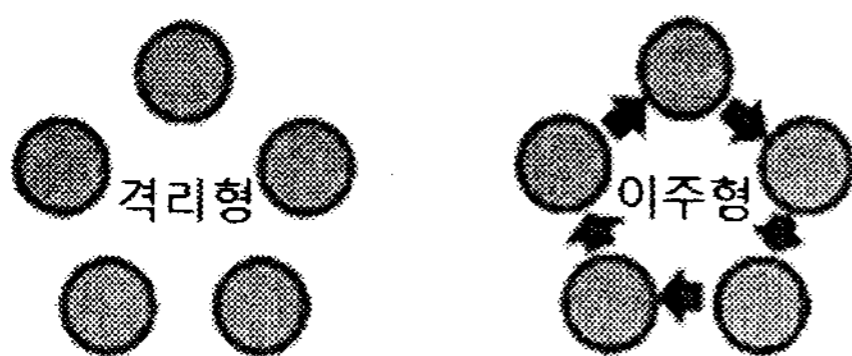


그림 3. 격리형과 이주형 구조

본 논문에서는 복수개의 목적함수를 효율적으로 처리하기 위한 주입형 군집구조를 제안한다. 그림 4에서 군집을 나타내는 원의 명암 차는 각기 다른 목적를 나타내며, 주입이주와 원형이주가 결합되어 있는 구조이다.

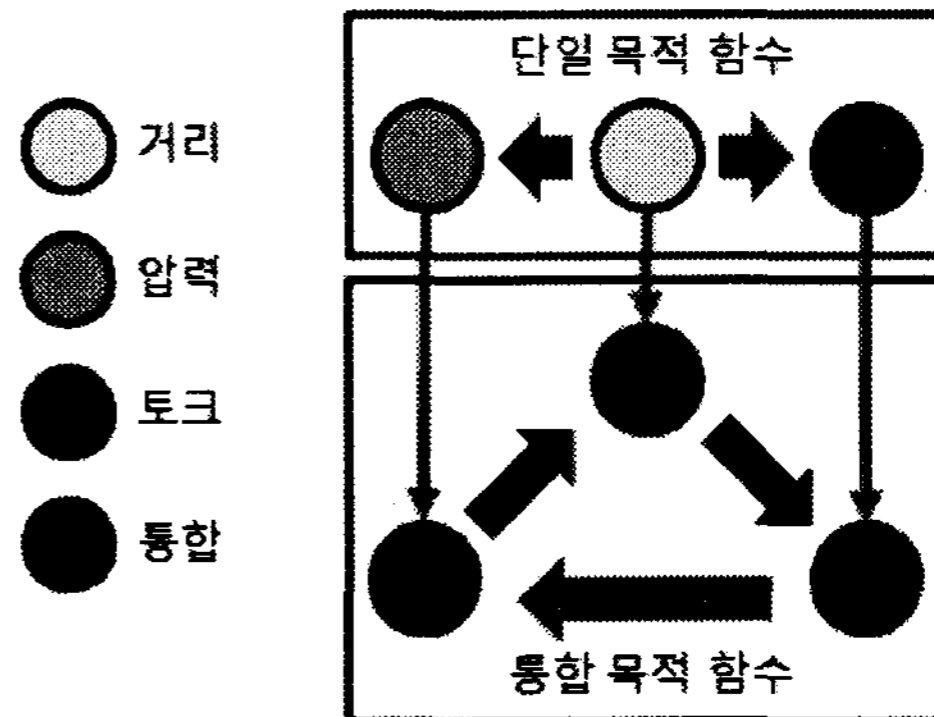


그림 4. 주입형 이주 구조

초기세대부터 지정세대까지 거리와 압력 그리고 토크에 관련된 군집이 하나씩 주어지고 일정 세대마다 거리 군집의 우수 개체들이 압력과 토크 군집으로 유입된다.

진화연산을 수행하던 군집들은 지정세대 이후 3가지 목적 함수가 통합되어지며, 이주방식 또한 주입형 이주가 아닌 원형 이주방식으로 바뀌어 수행된다(표 1).

표 1. 주입형 이주 알고리즘

- 1) 지정 세대 이전
 - ① 군집별로 다른 목적함수 적용
 - ② 일정세대마다 우수개체의 주입형 이주
- 2) 지정 세대 이후
 - ① 군집들에 통합된 목적함수 적용
 - ② 일정세대마다 우수개체의 원형 이주

거리 군집에서 높은 적합도를 보인 개체들이 압력과 토크 군집으로 유입되고 지정세대 이후, 목적 함수의 통합으로 진화가 이루어짐에 따라 개체들은 목적 함수에 맞춰 점층적으로 진화해 나가는 방법이다.

압력 적합도는 충격량 감소에 대한 주목적이고 거리 적합도는 로봇의 체공 범위를 제한함으로써 충격량을 줄이는 기초적 제약조건이며, 토크 적합도는 불필요하거나 무리한 동작을 억제시키는 부가적 요소이다. 압력과 토크의 목적 함수를 기초적 조건으로 하기에는 적절치 않기 때문에 개체는 거리 군집에서 압력과 토크 군집으로 이주되게 하였다.

4. 실험 및 결과

4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 Core 2 Duo 2.13 GHz PC에서 Cyberbotics 사의 Webots를 사용하여 수행되었다.

유전 알고리즘으로는 SGA(Simple Genetic Algorithm)[5]를 사용하였으며, 군집 수는 3, 개체 수는 군집 당 20개, 세대 수는 수행 시간을 고려하여 100세대로 설정 하였다. 교배확률 80%, 돌연변이확률 10%를 사용하고, 각 방법에 대해서 5회씩 반복 실험하였다. 넘어

짐을 발생시키기 위해서 로봇의 후면에 가해지는 외력은 12[N] 을 사용하였다.

4.2 이주 방식 조합의 사전 성능비교

본 연구에 앞선 사전실험에서 단일 군집과 다중군집의 성능을 비교하였으며, 다중 군집이 이주가 이루어질 경우에 단일 군집보다 성능이 좋고, 격리형의 경우에는 단일 군집보다 성능이 저하됨을 확인하였다. 또한 지정세대 이전과 이후의 이주 방식 조합에 따른 성능의 차이에 대하여 역시 사전 실험을 수행하였으며, 반복실험 결과가 표 2에 나와있다.

표 2. 이주 방식에 따른 성능비교

		지정세대이후		
		격리형	원형이주	주입형이주
지정세대이전	격리형	--	o	-
	원형이주	-	+	o
	주입형이주	o	++	+

성능 : ++<최상>, +<상>, o <중>, -<하>, --<최하>

표 2의 결과를 토대로 본 실험에는 그중 가장 우수한 성능을 보인 주입형 이주 방식(지정세대이전)에서 원형이주 방식(지정세대이후)으로 변화되는 조합을 적용하였다.

4.3 실험 결과

그림 5는 제안된 초기의 주입형과 후기의 원형이주 방식을 조합시킨 결과에서 최우수 개체의 동작을 나타낸다.

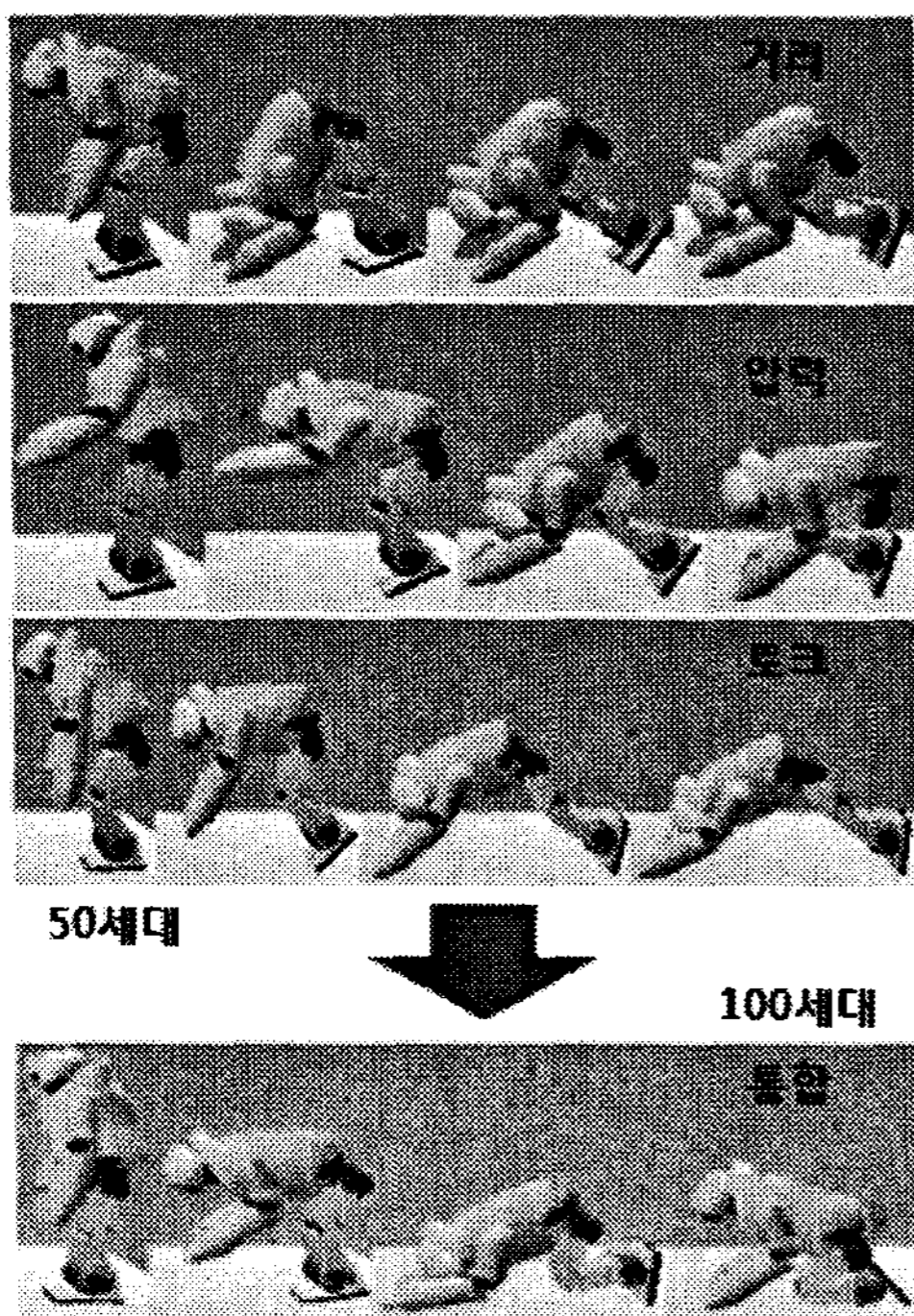


그림 5. 목적 함수에 따른 넘어짐 동작

세대가 증가하면서 개체들은 각 목적함수 특성에 맞게

진화를 해 나가고, 다중 군집에 의해 해의 다양성이 확보되기 때문에, 후기에 통합된 목적함수로의 효율적인 탐색의 개선이 이루어짐을 알 수 있다.

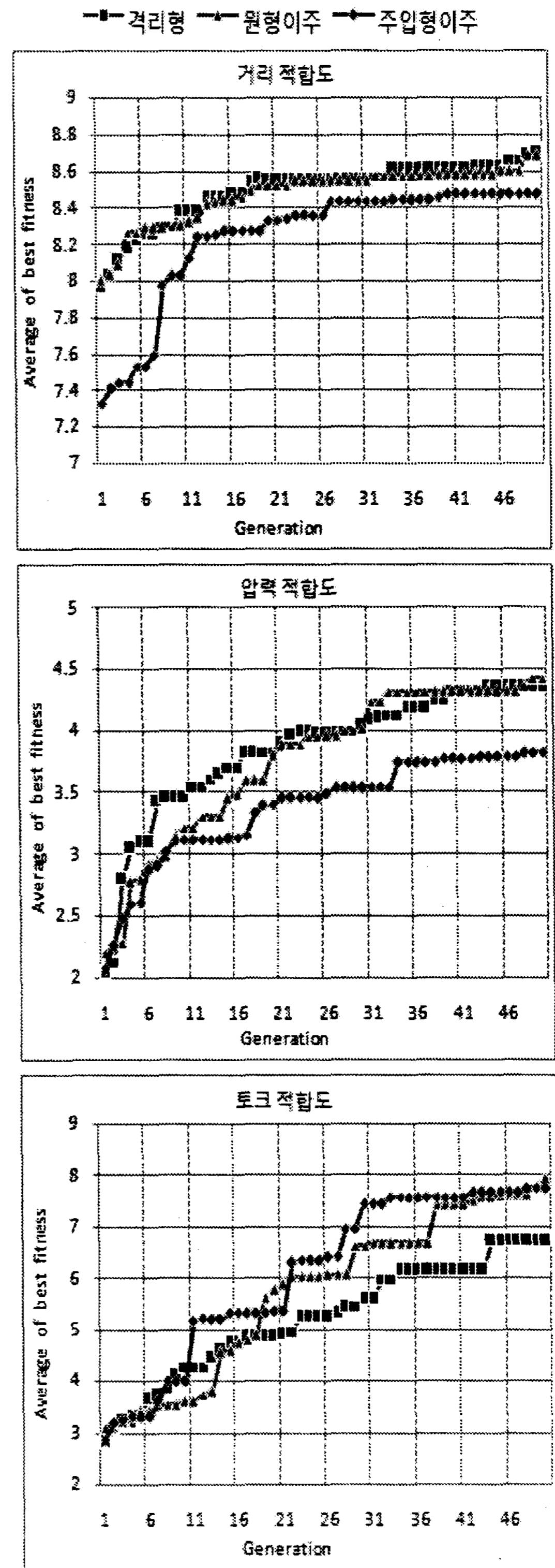


그림 6. 목적 함수 통합 이전의 최우수 개체의 평균 적합도 수치

50세대 이전까지의 거리, 압력 그리고 토크에 대한 적합도를 격리형과 원형 그리고 주입형 이주 3 가지 조건에서 비교한 결과가 그림 6에 나와있다.

거리 적합도와 압력 적합도는 격리형 군집이 우수한 성능을 보이며 토크 적합도에서는 주입형과 원형 이주방식이 비슷한 성능을 나타낸다. 이것은 통합 목적 함수를 사용하기 이전에 성능을 나타내며, 그림 7은 그 이후 세대 즉, 목적 함수가 통합되어진 이후에 최우수 개체에 대한 적합도를 보인다.

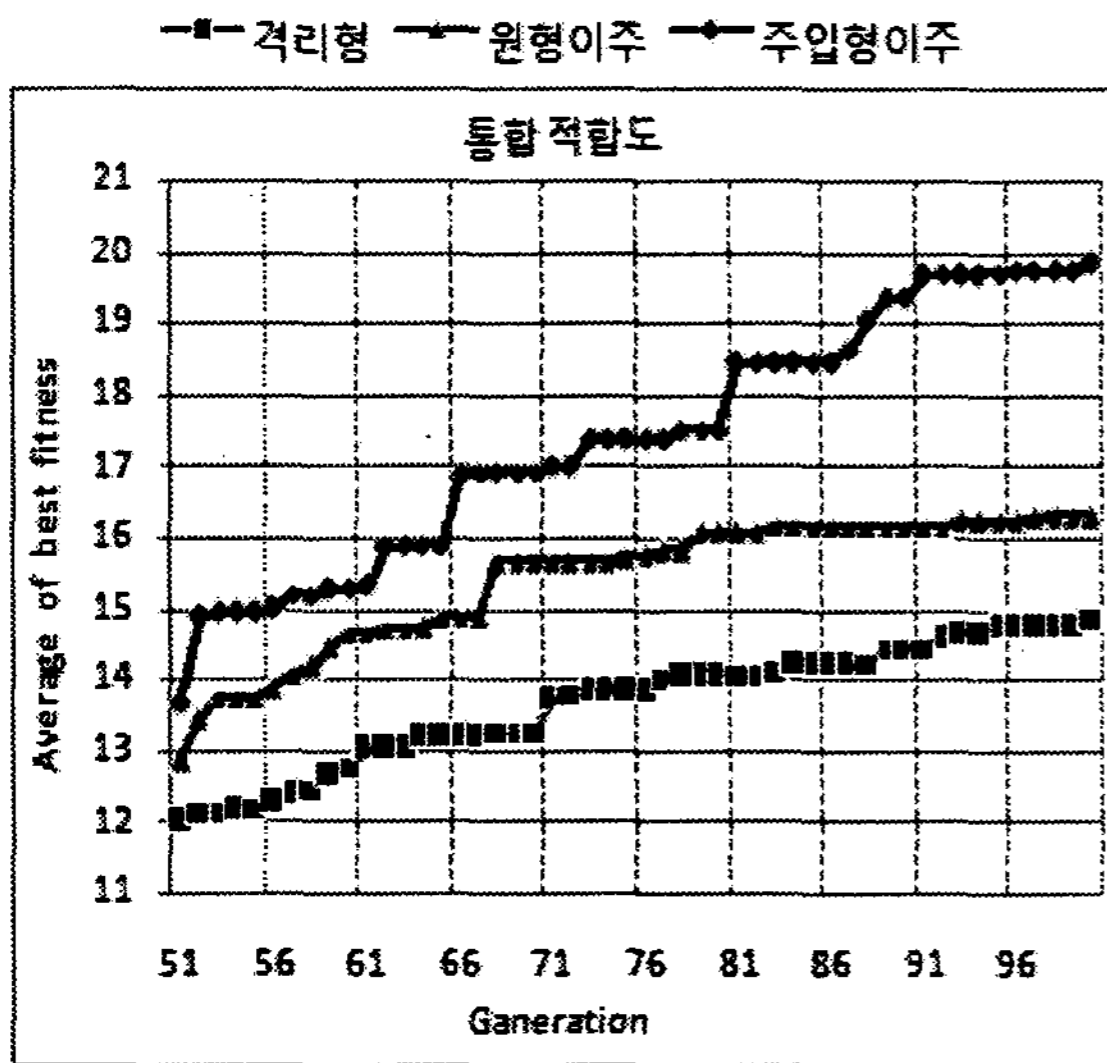


그림 7. 목적 함수 통합 이전에 최우수 개체의 평균 적합도

목적 함수의 통합 이전에는 주입형 이주가 성능이 낮았으나, 통합 이후에는 가장 높은 적합도를 보이고 있음을 알 수 있다.

이것은 격리형과 원형 이주 방식의 개체보다 주입형 이주 방식이 단일 적합도에서는 성능이 떨어지더라도 거리 군집에서의 우수한 개체들이 압력과 토크 군집으로 유입되어 각각의 단일 목적 함수에 적용되어져 목적 함수가 통합된 이후에 양질의 개체로 발전 될 가능성이 상대적으로 크게 된다.

5. 결 론

본 연구는 로봇이 넘어짐시 충격량을 최소화하기 위한 자세를 자동 생성하는 접근법으로서, PGA(Parallel Genetic Algorithm) 기반에서 다목적 함수를 고려한 군집 간 효율적 이주 방식의 조합을 통한 진화 탐색기법을 제안하였다.

초기 진화에는 각각의 군집마다 단일 목적 함수로 해의 진화 방향을 다양화하고, 후기 진화에는 전기에서 얻어진 해의 다양성을 토대로 통합된 목적함수의 개선된 탐색 능력을 도출하였다. 다른 이주 방식의 군집에 의한 결과에 비해 우수한 성능을 보이며, 충격량을 만족할만한 수준으로 최소화할 수 있는 넘어짐 자세를 생성하였다.

향후 연구로, 주입 이주방식에 대한 심화된 분석 및 타목적 진화기법의 적용 구성과 그리고 다양한 조건에서의 넘어짐 자세와 실제 로봇에의 적용이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] T. Ishida, Y. Kuroki, T. Takahashi, "Analysis of Motions of a Small Biped Entertainment Robot," *In Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2004)*, Vol. 1, pp. 142-147, Sendai, Japan, 2004.
- [2] K. Fujiwara, F. Kanehiro, S. Kajita, and H. Hirukawa, "Safe Knee Landing of a Human-size Humanoid Robot while Falling Forward," *In Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2004)*, Vol. 1, pp. 503-508, Sendai, Japan, 2004.
- [3] 안광철, 조영완, 서기성, "GA를 이용한 휴머노이드 로봇의 넘어짐 자세 생성," *퍼지 및 지능시스템학회 논문지*, Vol. 17, No. 2, pp. 77-81, 2007.
- [4] D. Eby, R. C. Averill, E. Goodman, and W. Punch, "Optimal Design of Flywheels Using an Injection Island Genetic Algorithm," *Artificial Intelligence in Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 13, pp. 389-402, 1999.
- [5] Z. Skolicki, K. De Jong, "The Influence of Migration Sizes and Intervals on Island Models," *In Proceedings of Genetic and Evolutionary Computation Conference(GECCO2005)*, pp. 1295-1302, Washington, D.C. USA, 2005.
- [6] D. E. Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.
- [7] Cyberbotics, *Webots Reference Manual release 5.1.9*, 2006.
- [8] Yariv Bachar, *Developing Controllers for Biped Humanoid Locomotion*, Master thesis, University of Edinburgh, 2004.