JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 25, No. 2: 314~319, Feb. 2021

드론 무게균형을 위한 원형의 부하 적재 방식

은성배[1*] · 한상숙[2]

A Circular Load Stowing Scheme for Maintaining Weight Balance in Drones

Seongbae Eun[1*] · Sangsuk Han[2]

[1*]Professor, Dept. of Information and Communication Eng., Hannam University, Daejeon, 34430 Korea
[2]Professor, Dept. of Smartsoftware., KOPO Daejeon Campus, Daejeon, 34503 Korea

요 약

선박이나 항공기에서 무게균형을 유지하면서 다양한 제한조건을 만족하는 문제들이 연구되었다. 또한, 부하의 모양과 무게가 동일한 조건과 m×n(m, n은 모두 홀수) 메시 구조에서 수학적 방법으로 문제를 해결하는 연구도 진행되었다. 문제는 기존의 수학적 무게균형 방식이 원형구조물에 부적합하다는 것이다. 본 논문에서는 N개의 등각다각형의 꼭짓점에 물체를 적재하는 원형 공간에서 부하 적재 문제를 연구하였다. N개의 등각다각형이 모두 짝수개의 각을 가진다고 가정할 때 부하의 수에 관계없이 항상 무게균형을 유지하는 적재 방식을 찾을 수 있음을 증명하였다. 드론 적재함의 구조 및 적재 방식을 제공하여 우리의 방식이 적절함을 보였다.

ABSTRACT

Problems that satisfy various constraints while maintaining weight balance in ships or aircraft were studied. In addition, a study was conducted to solve the problem with a mathematical method under the condition that the shape and weight of the load are the same and the m×n (m and n are all odd) mesh structures. The problem is that the existing mathematical weight balancing method is not suitable for circular structures. In this paper, we studied the load stowing problem in a circular space where objects are loaded at the vertices of N equilateral polygons. Assuming that all N conformal polygons have an even number of angles, it was proved that a loading method that always maintains weight balance regardless of the variety of number of loads. By providing the structure and loading method of the drone loading ship, we showed that our method was appropriate.

키워드 : 드론 안정성, 부하 적재, 무게균형, 등각다각형, 원형구조

Keywords : Drone stability, Load stowing, Weight balancing, Regular polygon, Circular architecture

Received 27 January 2021, **Revised** 27 January 2021, **Accepted** 2 February 2021

*** Corresponding Author** Seongbae Eun (sbeun@hnu.kr Tel:+82-42-629-7926)
Professor, Dept. of Information and Communication Eng., Hannam University, Daejeon, 34430 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.2.314 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/ by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

부하 균형 문제는 다양한 공학 문제에서 중요한 이슈를 차지한다. 선박이나 항공기는 운행중 무게균형을 유지해야만 운행의 안정성이 증가한다. 드론 등에서도 부학 적재는 주요한 관심 사항이다.

컨테이너 선박에서 컨테이너를 적재할 때 무게균형을 유지하면서 적재하는 문제[1]가 연구되었다. 또한 컨테이너 선박이 경로 상의 항구에서 컨테이너를 하역할 때 최소 시간에 화물을 하역할 수 있도록 컨테이너를 어떻게 적재할지 결정하는 Master Bay Plan Problem(MBPP) 문제[2]도 연구되었다. 이때 화물을 적재할 때 무게균형을 고려해야만 한다. 이 문제의 조건을 다양하게 변경한 문제들[3-6]이 연구되었다.

항공기에서 승객 및 화물을 적재할 때 무게균형을 고려해야 한다는 문헌[7,8]을 찾아볼 수 있다. 드론에서 화물을 적재할 때 무게균형을 유지하도록 제어하는 국내 특허[9]가 2015년에 공개되었다. 무게균형 문제를 이동통신 트래픽의 논리적 부하 분산에 적용하는 방법[10]도 제시되었다.

무게균형 문제를 수학적으로 접근한 연구들이 있었다. 물체 자체의 무게 중심을 찾는 연구[11,12]가 그 예인데 물체의 구조를 2차원, 3차원 좌표에 배치하고 무게중심을 지나는 직선들의 교차점이 무게중심인 것을 찾는 방식이다.

선박이나 항공기에 적재하는 컨테이너들은 그 모양과 크기, 무게가 유사하다는 특징을 갖는다. 이점을 이용하여 물체의 무게 및 모양이 동일하다는 가정하에 2차원 평면에서 언제나 무게균형을 찾을 수 있음을 수학적으로 증명[13]한 연구가 제시되었다. 이를 3차원으로 확장하여 무게균형을 유지하면서 물체를 배치하는 방식이 수학적으로 연구[14]되었다. 또한 이러한 물체 배치 방식을 스마트폰의 아이콘 배치에 적용한 연구[15]도 찾아볼 수 있다.

문제는 기존의 수학적 연구 방식이 모두 메시 구조를 가정하고 있다는 것이다. 본 논문에서는 드론 등의 원형 공간에 부하 적재 시 부하 균형을 유지하는 방식을 연구한다. 이때, 부하의 모양과 무게가 동일하다고 가정하며 원점을 중심으로 등각다각형이 배치될 때 각 꼭짓점에 부하를 적재하는 문제를 수학적으로 정의한다. 또한, 등각다각형이 모두 짝수개의 꼭짓점을 가질 때 부하의 수가 몇 개이든 부하 균형을 찾을 수 있다는 것을 증명한다. 또한 드론의 적재함의 구조에 실제 적용 사례를 제시하여 본 연구의 유용함을 보인다.

Ⅱ. 배 경

2.1. 공학분야의 무게 중심

컨테이너 선박에서 컨테이너를 적재할 때 선박의 무게 균형을 유지하려는 연구[1]가 진행되었다. 이 연구는 포르투갈의 선박회사에서 컨테이너에 화물을 적재할 때 무게균형을 유지하면서 적재하는 방법을연구한 논문이다. Sciomachen은 Master Bay Plan Problem (MBPP)[2]이라는 이름으로 무게균형을 유지하면서 컨테이너의 재선적을 최소화와는 계획을 세우는 문제를 제시하였다. 이 문제는 조건을 변경하여 다양한 방식[3-6]으로 연구되었는데 Liu Fan[3]은 대형 컨테이너 선의 기본 적재 계획을 생성하는 알고리즘을 제안하였다. 대형 컨테이너선의 화물 공간을 블록으로 나누고 일련의 휴리스틱 규칙에 따라 컨테이너 그룹을 선박의 다른 파티션에 할당한다. 컨테이너선과 달리 일반 화물 선박에서 화물을 선적하고 하적할 때 화물의 재배치를 최소화하며 무게균형도 유지하는 연구[4]도 진행되었다. Li[5,6]는 MBPP 문제를 바다가 아닌 양쯔강에서 운항하는 선박에 적용하였는데 화물의 무게가 다양하게 변하는 환경을 가정하여 문제를 해결하였다.

공학분야에서 부하 균형은 전통적으로 중요한 문제이다. 예를 들어 선박에서 화물을 적재할 때 무게균형을 유지해야 선박의 안정성이 증가한다. 이는 항공기에서도 마찬가지로 적용된다.

항공기에서도 승객, 화물 들이 적재될 때 항공기의 무게균형을 유지하도록 규정하는 핸드북이 미국 항공국에서 출간[7]되었다. 이때 화물을 적재하는 알고리즘[8]도 개발되었는데 항공기에 적재하는 컨테이너를 어디에 적재할 지를 결정하는 문제이다. 그 논문에서는 이 문제가 NP-Hard 문제임을 증명하였고 부하의 무게균형을 유지하면서 선적/하적할 때의 순서를 결정하는 방식이다. 드론에서 화물을 적재할 때 무게균형을 유지하도록 적재하고 제어하는 국내 특허[9]도 2015년에 공개되었다. 무게균형 문제는 선박이나 항공기에서 발생하는 물리적 무게균형 문제뿐만 아니라 이동 통신 트래픽의 논리적 부하 분산에도 적용될 수 있다[10].

2.2. 수학적 접근

무게균형 문제 중 수학적으로 접근한 사례를 찾아보면 물체 자체의 무게중심을 찾는 문제를 예로 들 수 있다. 무게중심이란 중력에 의한 알짜 토크가 0인 점으로 정의할 수 있으며 가장 간단한 방법으로 물체를 실에 매달아 중심을 구하는 방식이 그 예이다. 이를 2D에서 수학적인 방법으로 해결한 연구[11]를 찾아볼 수 있으며 3D에서 애니메이션 캐릭터를 생성할 때 무게중심을 구하여 처리[12]하는 연구도 찾아볼 수 있다.

다양한 형상의 물체에서 무게중심을 찾는 문제와 다르게 동일한 모양과 무게를 갖는 부하를 특정 공간에 적재하는 문제를 연구한 논문들이 있다. 이 문제의 출발은 동일한 모양과 무게를 갖는 계란을 대상으로 하는 것이다. 그 논문[13]에서는 계란의 포장재가 홀수 * 홀수의 구조(그림 1 참조, 3 * 5)를 가질 때 계란의 수에 관계없이 언제나 무게균형을 찾을 수 있음을 증명하였다.

Fig. 1 The figure of Egg Package, 3*5 Mesh Architecture[13]

그림 2는 m * n 메쉬 평면에서 무게균형을 유지하는 연구를 보여준다. 그림은 3*5의 메쉬 구조이고 위쪽의 2 경우는 무게균형이 맞는 사례이며 아래 쪽 2 경우는 무게균형을 유지하지 못하는 사례이다. 그 연구[14]에서는 m과 n이 모두 홀수인 메쉬구조에서 객체의 수가 1개부터 m*n개에 이르는 모든 경우에 무게균형을 유지하는 배치를 찾을 수 있음을 수학적 귀납법으로 증명하였다.

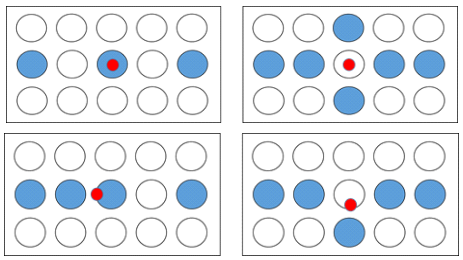

Fig. 2 Balanced vs. Unbalanced Allocation[14]

홀수 * 홀수의 메시 구조에서 무게균형을 찾는 문제를 스마트폰의 아이콘 자동 배치에 응용한 문제가 연구[15]되었다. 그림 3-a)는 아이콘 배치가 좌우 균형을 이루고 있고 3-b)는 그렇지 않은 경우이다. 그 논문에서는 스마트폰 사용자가 그림의 a)와 같이 균형을 유지한 배치를 선호할 때 자동으로 아이콘을 배치하는 방법을 고안하였다. 이때 기존의 수학적 무게균형 방식[13,14]이 적용되었다.

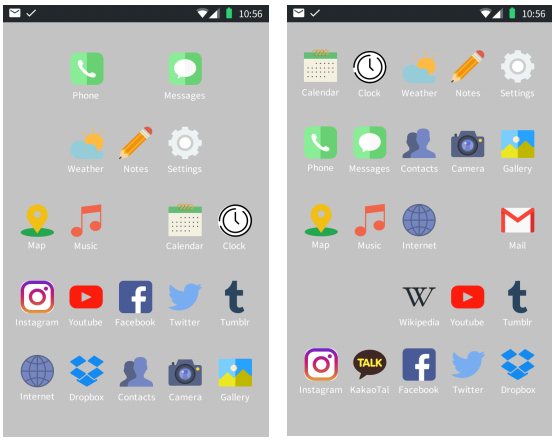

Fig. 3 a) An Example of Balanced Arrangement, b) An example of Unbalanced Arrangement[15]

이와 같이 계란 포장재에서 무게균형을 유지하면서 계란을 배치하는 수학적 연구는 다양한 분야에 적용되어 왔다. 문제는 기본 가정인 메시 구조를 적용할 수 없는 원형의 구조에서는 새로운 분석이 요구된다는 것이다.

Ⅲ. 원형구조의 무게균형

본 장에서는 기존의 메시 구조가 아닌 원형구조에서의 무게균형 문제를 수학적으로 분석한다. 1절에서는 원형구조를 정의하고 2절에서 무게균형의 수학적 분석을 제시한다.

3.1. 원형구조의 정의

그림 4는 등각다각형의 구조를 보여준다. 그림의 상위 세 도형은 차례로 3각형, 5각형, 8각형을 표시한다. 그림의 하위는 등각다각형 들이 중첩되어 있는 것을 표

시하는데 본 논문의 목표인 원형구조를 도식화한다. 그림의 하위 도형은 중심에 원점이 있고 그 주위에 4각형, 5각형, 8각형이 중첩되어 있는 것을 볼 수 있다.

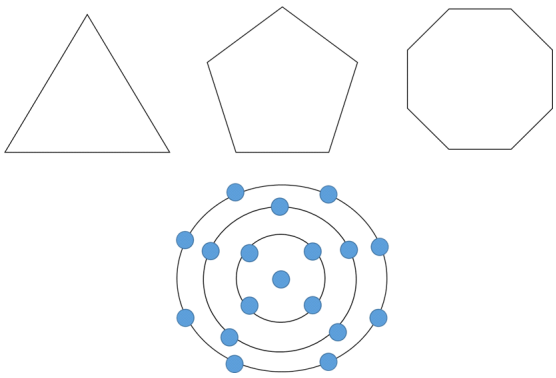

Fig. 4 Regular Polygons and Nested Polygon

중첩되는 등각다각형은 그림에서처럼 다각형의 수가 커질 필요는 없다, 특별한 제한은 없는데 원점은 필수적이다. 그림 5는 중첩된 등각다각형의 다양성을 예시한다. 그림에서 왼쪽의 도형은 순서대로 점차 커지는 등각다각형이 중첩된 것을 보여준다. 가운데는 동일한 등각다각형이 중첩된 것을 표시하고 오른쪽은 더 작은 등각다각형이 중첩된 것을 보여준다.

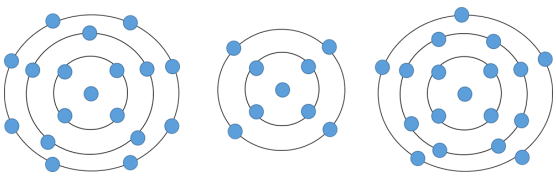

Fig. 5 Various Nested Regular Polygons

3.2. 원형구조의 무게균형

그림 6은 원형구조에서 무게균형의 사례를 보여준다. 그림에서 왼쪽은 원점과 4각형, 8각형이 중첩된 도형이다. 이때 파란색으로 채워진 꼭짓점은 부하가 채워진 것을 의미하며 빨간 점은 무게중심을 나타낸다. 왼쪽 도형은 빨간 점이 원점에 위치하므로 무게균형이 유지되는 경우이다. 오른쪽 그림은 원점, 4각형, 5각형이 중첩된 경우인데 빨간 점이 원점에서 치우친 것을 볼 수 있고 이 경우 무게균형을 유지하지 못한 것을 보여준다.

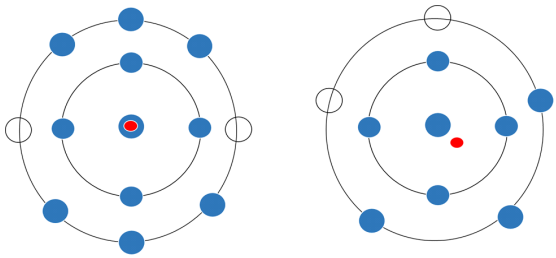

Fig. 6 Examples of Balanced Structures

3.3. 무게균형의 수학적 분석

본 절에서는 3.2절에서 정의한 무게균형에 관한 수학적인 분석을 기술한다. 그림 6에서 왼쪽의 도형은 원점과 4각형, 8각형의 등각다각형이 중첩된 것이다. 오른쪽은 원점과 4각형, 5각형의 등각다각형이 중첩된 것이다.

이 절에서는 왼쪽과 같이 중첩되는 등각다각형의 꼭짓점의 수가 모두 짝수일 때 부하의 수가 몇 개이든 언제나 무게균형을 유지하는 부하 배치를 찾을 수 있음을 증명하려 한다.

[정의 1] 중첩된 등각다각형에서 무게중심이 원점에 위치하는 것을 “정균형”이라고 정의한다. 그렇지 않은 경우는 “불균형”이라고 정의한다. 그림 6에서 왼쪽 도형은 정균형의 사례이고 오른쪽 도형은 불균형의 사례이다.

[정리 1] N개의 등각다각형이 원점을 중심으로 중첩되어 있고 각각의 등각다각형의 꼭짓점의 수가 L_i 이며 J개의 부하를 꼭짓점에 배치할 때 정균형을 유지하는 부하 배치를 언제나 찾을 수 있다. 단, L_i 는 수식 (1)을 만족한다.

$$1 \leq J \leq \sum_{i=1}^{i=N} L_i \tag{1}$$

[증명] 그림 7과 같이 수학적 귀납법으로 증명한다.

1. N = 1, 그림 7의 좌상의 예처럼 1개의 부하를 원점에 배치하는 방법뿐이며 이때 정균형은 유지된다.
2. N = k 일 때, 참임을 가정한다. 그림 7의 우상처럼 부하가 모두 배치되었으며 정균형을 유지한다.
3. N = k+1 일 때, 만약, 배치하려는 부하가 짝수개이면 모든 등각다각형이 짝수개의 꼭짓점을 가지고 각각의 꼭짓점이 대칭되는 위치에 존재하므로 그림 7의

좌하처럼 각각을 대칭되는 위치에 배치하면 정균형을 유지할 수 있다.

만약, 배치하려는 부하가 홀수개이면 그림 7의 우하의 사례처럼 원점에 위치한 부하를 대칭되는 꼭짓점에 배치하면 정균형을 유지할 수 있다.

따라서 모든 경우에 부하의 수가 몇 개이든 정균형을 유지하는 배치를 언제나 찾을 수 있다. Q.E.D.

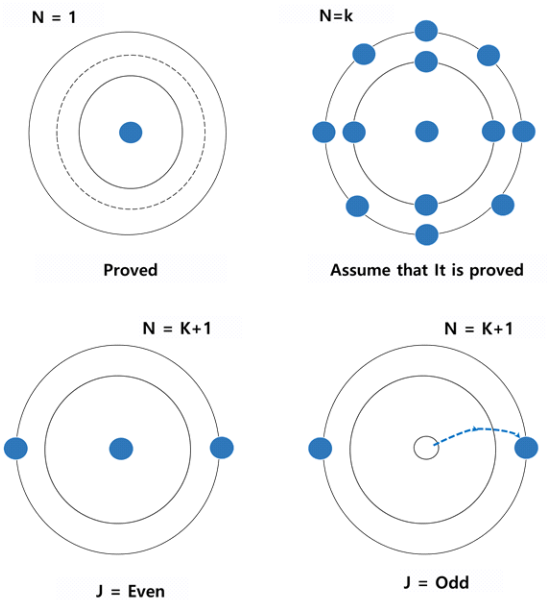

Fig. 7 Proof by Mathematical Induction

Ⅳ. 원형구조의 무게균형

이 장에서는 드론에서 무게균형을 유지하면서 부하를 적재하는 사례에서 3장의 수학적 분석이 어떻게 활용되는지 제시한다.

그림 8은 드론에 장착된 부하 적재함의 구조를 보여준다. 실제의 적재함은 충격 완화, 적재의 편리성 등을 고려한 구조이어야 하나 본 논문에서는 무게균형과 관련된 적재함의 기본 구조만을 제시한다.

그림 8의 적재함은 원점의 적재함, 4각 구조의 1차 적재함, 8각 구조의 2차 적재함이 중첩된 구조이다. 그 결과 총 13개의 부하를 적재할 수 있다.

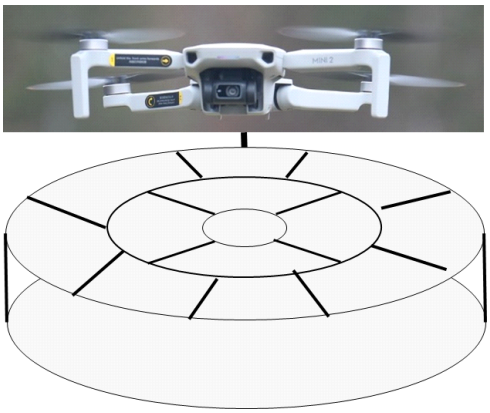

Fig. 8 Load Cage in Drones

본 논문에서는 드론의 부하 배송이 1 단계의 배송이 아닌 다단계의 배송이 가능하다고 가정한다. 그 경우, 부하의 수는 단계를 거칠 때마다 커졌다, 작아졌다 하며 변하게 된다. 이때 부하 적재함이 본 논문의 가정과 같이 원점과 짝수개의 꼭지점을 갖는 등각다각형의 중첩 구조를 갖는다면 어떤 경우에도 부하의 무게균형이 보장됨을 3장에서 증명하였다.

Ⅴ. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 원형의 공간에서 부하 적재를 할 때 무게균형을 유지하는 문제를 수학적 방식으로 연구하였다. 기존의 수학적 방식이 메시 구조인 점을 고려할 때 본 논문의 원형구조는 드론이나 미사일의 무게균형을 유지하는 데 적용할 수 있다.

먼저, 원형구조를 구축하는 원소인 등각다각형을 정의하고 이들이 원점을 중심으로 중첩된 구조를 정의하였다. 이러한 구조 속에서 적재되는 부하의 수가 변하더라도 언제나 정균형을 유지하는 부하 배치 방법을 찾을 수 있음을 수학적 귀납법으로 증명하였다. 또한, 드론 등의 부하적재함의 구조를 예시하고 드론 배송의 각 단계에서 부하의 수가 변하더라도 언제나 무게균형을 유지할 수 있음을 보였다.

본 논문의 결과는 실제 드론의 부하적재함 설계나 미사일의 내부구조를 설계할 때 적용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

[1] M. Costa and M. Captivo, "Weight distribution in container loading: a case study," *International Transactions in Operational Research*, vol. 23, no. 1, pp. 239-263, 2016.

[2] A. Sciomachen and E. Tanfani, "The master bay plan problem: a solution method based on its connection to the three dimensional bin packing problem," *IMA Journal of Management Mathematics*, vol. 14, no. 3, pp. 251-269, Jul. 2003.

[3] F. Liu, M. Low, S. Huang, and W. Hsu, "Stowage Planning of Large Containership with Tradeoff between Crane Workload Balance and Ship Stability," *Proceeding of International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists 2010*, vol. 3, Mar. 2010.

[4] M. P. Seixas, A. Mendes, M. Barretto, C. Cunha, M. A. Brinati, R. Cruz, Y. Wu, and P. A. Wilson, "A heuristic approach to stowing general cargo into platform supply vessels," *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 67, no. 1, pp. 148-158, Jan. 2016.

[5] J. Li, Y. Zhang, J. Ma, and S. Ji, "Multi-Port Stowage Planning for Inland Container Liner Shipping Considering Weight Uncertainties," *IEEE Access*, pp. 66468-66480, Oct. 2018. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2878308.

[6] L. Zheng, S. Ji, J. Li, and Y. Zhang, "Solving inland container ship stowage planning problem on full route through a two-phase approach," *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, vol. 12, no. 1/2, pp. 65-91, Jan. 2020.

[7] Airplane Flying Handbook, U.S. Department of Transportation FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION Flight Standards Service, 2016.

[8] V. Lurkin and M. Schyns, "The Airline Container Loading Problem with Pickup and Delivery," *26th European Conference on Operational Research*, Rome, pp. 1-4, July. 2013.

[9] Application Korea Patent, KR1020150168071A events, unmanned aerial vehicle with object loading function, 2015.

[10] A. Sharma, A. Roy, S. Ghosi, R. Chaki, and U. Bhattacharya, "Load Balancing in Cellular Network: A Review," *Proc. of 2012 Third International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies*, pp. 1-5. 2012.

[11] K. Kwon, "Development of speeding up 2D digital image correlation measurement system by using center of gravity algorithm and the measurement of strain nano fiber mat," Master Dissertation, Chonbuk National University, Feb. 2018.

[12] J. Cho, "Study of center of gravity on the 3D character animation: Focus on humanoid character," Master Dissertation, Kookmin University, Feb. 2006.

[13] S. Eun, J. Jung, Y. S Yun, S. Cha, and S. S So, "A mathematical Study on Weight Balancing in 2D Mesh and It's Application to Engineering Problems," *Proceeding of 2019 International Conference on Green and Human Information Technology*, pp. 70-72, Jan. 2019.

[14] S. So, K. A. Son, and S. Eun, "An Optimal Algorithm for Weight Balancing in a 3D Mesh Architecture," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 24, no. 8, pp. 1095-1101, Aug. 2020.

[15] E. S. Oh, S. S. So, S. Eun, J. Jung, and Y. S Yun, "Automatic Icon Arrangement for Smartphone UI," *Proceeding of 2020 International Conference on Green and Human Information Technology*, pp. 123-126, Feb. 2020.

은성배(Seongbae Eun)

1985년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
1987년 KAIST 전산학전공(석사)
1987년~1990년 한국전자통신연구원 TDX개발단 연구원
1995년 KAIST 전산학전공 (박사)
1995년~현재 한남대학교 정보통신공학과 교수
※ 관심분야 : 실시간 시스템, 임베디드 시스템 등

한상숙(Sangsuk Han)

1987년 한밭대학교 전자계산학과 학사
1990년 청주대학교 전자계산학전공(석사)
2004년 한남대학교 정보통신공학전공(박사)
1995년~현재 한국폴리텍대학 스마트소프트웨어과 교수
※ 관심분야 : 실시간 시스템, 임베디드 시스템 등