

철강 코일의 선적 및 배치 자동화 시스템 개발

김상현* · 이우* · 오승홍* · 이주완* · 손민우* · 김원중**

The Steel Coil Loading and Placement Automation System Development

Sang-Hyun Kim* · Woo-Lee* · Seung-Hong Oh* · Ju-Wan Lee* · Min-Woo Son* · Won-Jung Kim**

요약

적부계획은 화물, 선적/양하지 및 본선의 정보를 토대로 합리적인 적부와 고박 방법을 사전에 수립하고, 합의하여 계획적으로 시행함으로써 안전하게 적재하기 위해 필수적인 과정이다. 또한, 계획에 따라서 배 1척당 약 14% 이상의 적부량의 차이가 발생할 수 있으며, 이로 인하여 공차율이 발생하고 해상 운송료의 증가로 이어진다. 본 연구에서는 철강 코일 선적의 작업환경과 공정의 기준과 철강 코일 선적 관련 선급 규정 및 지침을 분석하였다. 그리고 실적 데이터 기반 선적 밸런싱 및 안정성 분석을 통하여 최적의 적부계획을 도출하는 철강 코일 선적 및 배치 자동화 시스템을 개발하였다.

ABSTRACT

Stowage planning is an essential process for safe loading by establishing, agreeing on, and systematically implementing a reasonable loading and securing method based on information on cargo, loading/unloading and the ship. In addition, depending on the plan, there may be a difference of about 14% or more in the loading amount per ship, which causes a tolerance rate and leads to an increase in sea freight charges. In this study, work environment and process standards for steel coil shipment, and classification regulations and guidelines related to steel coil shipment were analyzed. In addition, we developed a steel coil loading and placement automation system that derives an optimal loading plan through performance data-based shipping balancing and stability analysis.

키워드

Harbor Automation, Modeling, Simulation, Stowage Planning
항만 자동화, 모델링, 시뮬레이션, 적부 계획

1. 서론

최상의 해상화물 적재 및 고박은 출하, 하역, 본선 등 관계자들의 적합한 네트워크에 의한 합의된 적부계획서의 작성이 필수적이다. 적부계획은 화물, 선적/양

하지 및 본선의 정보를 토대로 합리적인 적부와 고박 방법을 사전에 수립하고 합의하여 계획적으로 시행함으로써 안전하게 적재하기 위한 필수적인 과정이다[1-4]. 일반적으로 철강 코일은 외형적인 특성으로 인하여 보관 및 해상운송을 위한 선박 적부 시 각별한 주의

* 순천대학교 컴퓨터공학과(gold@iworks2018.kr, blue@iworks2018.kr, ohsh2866@gmail.com, rnd@argomarine.co.kr, cyan@iworks2018.kr)

**† 교신저자 : 순천대학교 컴퓨터공학과

• 접수일 : 2022. 10. 27
• 수정완료일 : 2022. 11. 19
• 게재확정일 : 2022. 12. 17

• Received : Oct. 27, 2022, Revised : Nov. 19, 2022, Accepted : Dec. 17, 2022

• Corresponding Author : Won-Jung Kim
Dept. of Computer Engineering, Suncheon National University,
Email : kwj@sclu.ac.kr

와 기술이 필요하다. 또한, 철강 코일은 중량체이며 원통형으로 부피가 매우 커서 수출할 때는 화물선에 의존하여 선적 후 수출하게 된다[5-7].

철강 코일의 선적은 코일의 형상과 운송 선박의 특성상 2단적 이상으로 선적이 이루어진다. 하지만 철강 코일의 경우 올바른 적부가 되지 않는다면 무게의 하중이 한쪽으로 쏠리는 현상이 발생할 수 있다. 하중이 한쪽으로 편중된다면 선박의 밸런스가 무너지고 계획된 항로에서 운송하는 동안 본선과 화물의 안전성을 확보하기가 매우 어려울 수 있다[7-9].

선박의 적부는 계획에 따라 배 1척당 약 14% 이상의 적부량의 차이가 발생할 수 있으며, 이로 인하여 공차율이 발생하여 해상 운송료의 증가로 이어진다[10].

국내 컨테이너 항만의 경우 적부계획 및 운영 자동화 시스템이 상용화가 이루어지고 있으나 비컨테이너(철강 코일, 플레이트 등) 부분은 기술개발 및 상용화가 미흡한 실정이다.

비컨테이너 물류의 대표적인 철강 항만산업은 최근 글로벌 경기둔화와 수요산업 침체, 원자재 가격상승 등 어려운 환경이다. 이에 효율적이고 자동화된 시스템을 통해 물류비용을 절감할 수 있는 방안이 필요하다.

본 연구에서는 철강 코일 선적의 작업환경과 공정에 대한 기준과 철강 코일 선적 관련 선급 규정 및 지침을 분석하였다. 그리고 실적 데이터 기반 선적 밸런싱 및 안정성 분석을 통하여 최적화된 적부계획을 도출할 수 있는 철강 코일 선적 및 배치 자동화 시스템을 개발하여 철강 항만산업의 물류비용을 절감할 수 있는 방안을 제시한다.

또한, 화물, 선적, 양하지 및 본선의 정보를 토대로 합리적인 적부와 고박 방법을 사전에 수립하여 코일 선적 작업의 효율성과 안전성을 확보하고 적부 과정에서 일어나는 판단착오, 체선을 방지할 수 있는 방안을 제시한다.

II. 선적 밸런싱 및 안정성 분석

2.1 적부에 따른 철강 코일 하중

철강 코일은 보통 선체를 가로질러 적재되어 하나 이상의 키 코일로 고정된다. 한 줄 높이 보다 더 높게 운반할 때에 상부 코일의 무게는 코일이 접촉하는 지점을 통해 선박 구조로 전달된다.

실제로는 키 코일이 인접한 코일을 서로 밀어내어 작은 수평력을 생성하는 경향이 있기는 하지만 인접한 코일에 수직으로 전달된다고 가정한다. 이 수평력은 화물창 측면 또는 하부 호퍼 그리고 코일, 고입목(일반적으로 현장에서는 ‘깔개목’으로 사용)과 화물창 사이의 마찰에 의해 대항되지만 수직력은 탱크 상단과 이중 바닥에 전달된다. 이중 바닥은 화물창 판과 2차 보강재가 기본 구조로 하중을 전달하여 화물 하중을 견딜 수 있도록 특별하게 설계된다. 이중 바닥은 그릴 구조로써 하부 호퍼에 단단한 바닥과 가로 웹(Transverse web)이 종방향과 횡방향 구조로 구성되어 있다.

코일의 하중에 따른 수직력을 계산할 때 코일 중심에서 중심으로 그려진 선들을 따라 수직으로 힘이 전달된다. 그림 1은 바닥층에서 두 개의 코일로 지지되는 단일 코일의 두 가지 사례를 보여준다. 왼쪽 그림은 바닥의 코일이 같은 직경을 가지므로 상단 코일의 무게를 동일하게 나누어 가진다. 그러나 오른쪽 그림에서는 상단 코일의 무게 대부분이 하단 층의 작은 코일에 의해 지지가 되어 내부 바닥으로 전달되는 부하가 16% 증가한다. 그림 2는 이러한 접근에 따라 불규칙한 코일 스택에 대한 내부 바닥의 하중을 계산한 것이다.

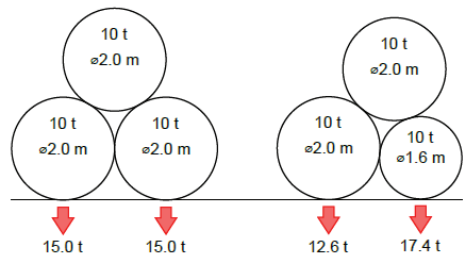


그림 1. 코일 하중 전달 예시
Fig. 1 Example of weight transfer

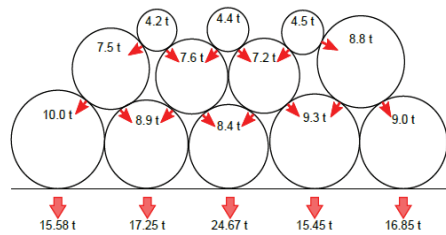


그림 2. 불규칙한 코일 스택의 부하 분산
Fig. 2 Load distribution in irregular coil stack

2.2 선박의 운항 중 코일의 외력 계산

철강 코일의 고박력은 다양한 선종과 제품에 따라 다양하고, 복잡한 고박 배치가 존재하고, 고박 요소들을 고려하여 힘을 계산하는 방법은 방대한 자료와 복잡하고 반복적인 계산을 요구한다.

본 연구에서는 표 1과 같이 운송 선박의 크기 및 제품 단중별 외력과 스틸밴드 기본 고박력을 비교하였으며, 그림 3과 같이 선적된 제품이 운항 중 움직이려는 외력을 계산하였다.

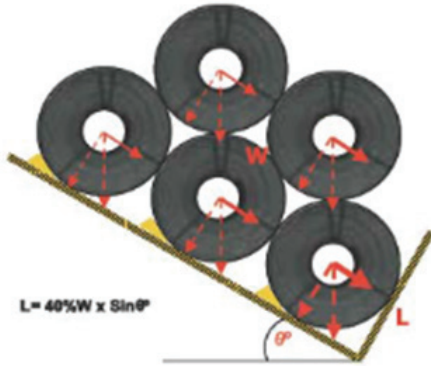


그림 3. 선박의 운항 중 코일의 외력 계산
Fig. 3 Calculation of external force of coil during operation of vessel

표 1. 선박의 크기 및 제품 단중별 외력과 스틸밴드 기본 고박력

Table 1. External force and steel band basic lashing force by ship size and product stage

Sortation		Comparison of lateral external force/lashing force(kN)		
Transport Vessel	product	external force in flight	high force	
Small Ship	less than 3000 tons	10ton	67.17	92.91
		20ton	134.34	122.34
		30ton	201.51	151.77
Midsize Ship	less than 10000 tons	10ton	54.48	92.91
		20ton	108.96	122.34
		30ton	163.44	151.77
Large Ship	less than 55000 tons	10ton	42.75	92.91
		20ton	85.49	122.34
		30ton	128.24	151.77

2.3 화물창 내부 바닥과 호퍼 강도

철강 코일 하중의 영향이 균일 하중으로 작용하는 것과 잠재적으로 점 하중으로 작용하는 것에 대한 비교는 유한요소 해석을 통해 시각화할 수 있다. 다음 그림 4에서 보여지는 바와 같이, 층당 두 개의 키 코일을 가지는 단일층 코일 선적은 두 가지 형태로 하중 분포가 가능하다. 그림 4의 왼쪽은 균일한 압력이 형성되도록 코일 중량이 내부 바닥에 균등하게 분포된 하중이며 그림 4의 오른쪽은 점 하중처럼 내부 바닥에 불균일하게 분포한 하중이다. 선박의 내부 바닥에서의 응력 분포는 두 개의 유한요소 다이어그램에 보여지는 바와 같이 왼쪽 다이어그램은 균일 분포하중을 보여주고, 오른쪽 다이어그램은 고르지 않는 하중 분포와 점 하중의 응력을 보여준다.

선박의 내부 바닥은 균일한 하중 분포를 고려하여 설계되었으므로, 이러한 이유로 점 하중을 피하는 것이 필수적이다. 이를 위해 철강 화물과 선박의 화물창 구조 사이에 고임목이 삽입된다. 고임목은 적재 및 운송 중에 화물을 손상으로부터 보호할 뿐만 아니라 화물의 하중과 선박의 선체 사이에 지지와 마찰력을 제공한다. 고임목의 수, 폭 및 두께를 늘리면 하중의 확산이 증가한다. 그러나 실제 하중 분산 효과는 제한적이며, 균등하게 분산된 하중을 얻을 수는 없다.

결과적으로, 올바른 유형과 크기의 고임목을 빠르게 사용하여 점 하중의 위험을 줄이는 것은 한계를 가질 수 밖에 없다. 그러나 1인치 보다 두꺼운 고임목을 사용하면 점 하중이 감소되어 하중 분산이 증가한다.

이러한 이유로 동등한 균일 하중을 가정하여 철강 코일 적재 하중을 평가하는 것이 바람직하지 않다는 것을 보여준다. 공통구조규칙[11]은 특정 스틸 코일 하중조건에 대한 선박 설계 시 지침으로 사용할 수 있다. 그러나 코일을 운반하는 철강 무역에 사용되는 많은 선박은 적재 설명서에서 철강 코일 적재 조건이 제한되어 있다. 실제 부하를 반영하는 조건 계산은 필요한 수준의 안전을 유지하는 데 필수적이다.

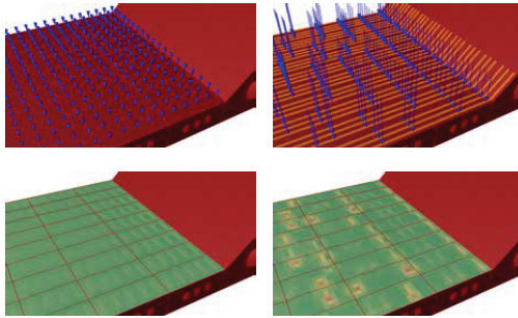


그림 4. 하중 분포에 따른 점 하중의 응력
Fig. 4 Stress of point load according to load distribution

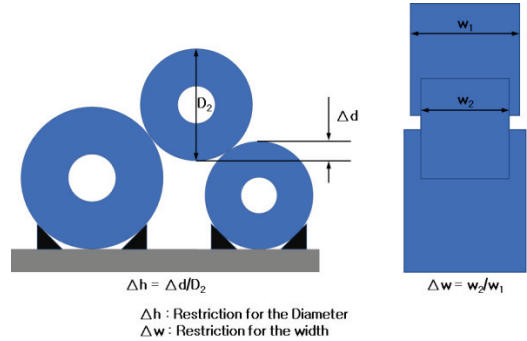


그림 5. 상부 코일 및 하부 코일에 적용되는 제한 사항
Fig. 5 Restrictions applying to upper coil and lower coils

III. 철강 코일 선적 및 배치 알고리즘

3.1 철강 코일 선적 및 배치 모델

현재 제철소에서 생산되는 강철 코일, 후판 등 다양한 철강 제품들은 선박을 이용하여 운송되고 있다. 특히, 강철 코일의 경우, 고정된 일정에 정기항로를 운항하는 정기선과 운송 수요자의 요구에 따라 수시로 항해하는 부정기선을 통해 운반되고 있다.

한 항차에 다양한 크기를 가진 수백 개의 철강 코일이 운반되는데, 경제성과 효율성을 확보하기 위해서는 선박의 화물창에 적절하게 할당해야 하며, 고려해야 할 필수 조건은 선적을 위해 지정된 모든 코일을 선적하는 것이다.

항해 중 선적된 코일의 안정성을 보장하기 위해서는 그림 5와 같이 상단에 있는 코일의 크기는 그 아래에 할당된 코일의 크기에 상응하는 제한이 있다. 즉, 상부 코일의 폭은 하부 2개 코일의 최대 폭을 초과할 수 없으며 상부 코일의 바닥은 직경이 작은 하부 코일의 상부에서 일정 비율 이상 가라앉아야 한다.

그림 5는 상부 코일 및 하부 코일에 적용되는 제한 사항을 보여주고 있다.

3.2 화물창에서 코일 할당 모델링

일반적으로 강철 코일은 화물창에서 일단 이상의 레이어로 할당되고 오른쪽에서 왼쪽으로 행에 배치된다. 따라서 화물창의 코일 할당을 설명하기 위해서는 4개의 정수 변수를 사용하여 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

여기에서 a_i 는 제품 i 의 블록 인덱스, x_i 는 열 인덱스, y_i 는 행 인덱스, z_i 는 상위 ($z_i=1$) 또는 중위($z_i=2$) 또는 하위 ($z_i=3$)를 나타내는 인덱스이다. N_a 와 n_x 는 각각 영역의 영역 수와 열 수이다. $N_y(a_i)$ 는 영역 a_i 에 있는 트레슬(Trestle) 수이다. N_a 와 $N_y(a_i)$ 는 각 선박에 대한 상수이지만, n_x 는 연속 코일의 최대 폭으로서 정의되는 각 행의 폭에 따라 달라진다. 우리는 또한 가상 좌표를 사용하여 미선적된 코일을 표현한다. 즉, $V_i(0, *, *, *)$ 이면 코일이 미선적된 된 것으로 간주하였다.

$$\begin{aligned}
 V_i &= (a_i, x_i, y_i, z_i) \\
 a_i &\in 0, 1, 2, \dots, N_a \\
 x_i &\in 0, 1, 2, \dots, n_x \\
 y_i &\in 0, 1, 2, \dots, N_y(a_i) \\
 z_i &\in 1, 2, 3 \\
 V_i &\neq V_j \text{ if } i \neq j
 \end{aligned} \quad \dots(1)$$

3.3 철강 코일 선적 및 배치 평가 함수

할당 문제의 최적 값을 얻기 위해 Balance of a ship, Total Number of Unloaded Coils, Total Distance

of Crane Movement 3가지 함수를 정의하였다.

선박의 좌우 방향과 전후 방향의 물과 피치는 최소화되어야 한다. Balance of a ship 선박 균형의 장점을 나타내기 위해 다음 식(2)와 같이 E_1 을 정의한다.

$$E_1 = |d + \alpha|t - \bar{t}|, \quad \alpha > 0 \quad \dots (2)$$

여기서 d 는 우현에 대한 경사도, t 는 선미와 선수 사이의 수면 아래 선체 깊이 차이(트림), \bar{t} 는 t 의 목표, α 는 스케일링 매개 변수이다.

미선적된 코일의 수는 최소화 되어야 한다. Total Number of Unloaded Coils는 미선적된 코일 수를 나타내기 위해 다음 식(3)과 같이 E_2 를 정의한다.

$$E_1 = |d + \alpha|t - \bar{t}|, \quad \alpha > 0 \quad \dots (3)$$

크레인 이동 거리의 합을 최소화하여야 한다. 크레인의 추가 이동을 간단히 나타내기 위하여 블록 간의 이동 빈도를 사용하였다. Total Distance of Crane Movement는 팔레트에서 가장 빈번하게 사용되는 블록 B_p 앞에 팔레트 p 가 배치되는 경우, 블록 B_p 앞에서 팔레트 p 가 배치되는 경우, 블록 B_p 에서 할당할 수 없는 코일 수로 서로 다른 블록 사이의 이동 빈도를 가정하여 E_3 를 식(4)로 정의하였다.

$$E_2 = M - \sum_i^M \min 1, a_i \quad \dots (4)$$

이러한 기준 함수는 가중 선형 합계의 형태로 결합한다. 결과값은 최적화 알고리즘에서 추정하며 결정될 각 변수는 3차원 정수이다. 따라서 문제는 정수 프로그래밍의 한 유형이며 조합 최적화 알고리즘을 사용하여 값을 도출할 수 있다.

3.4 철강 코일 선적 및 배치 최적화 알고리즘

본 연구는 Simulated Annealing 방법을 사용하여 강철 코일 선적 배치를 최적화하였다. 이 방법에서는 각 코일의 할당 위치가 블록과 코일의 우선순위에 따라 순차적으로 결정된다.

블록 우선순위는 식(5)와 같이 도출하였으며, 각 홀

드 블록($k=1, 2, \dots, N_a$)에 대해 적재 용이성을 표현하기 위해 인덱스 $F_b(k)$ 를 정의하였다.

$$F_b(k) = \frac{C_k}{N_y(k)L_k} \quad \dots (5)$$

여기서 C_k , $N_y(k)$ 및 L_k 는 블록 k 에 할당 할 수 있는 코일 수, 블록 k 의 트레슬 수 및 블록 k 의 앞뒤 길이이다. 즉, $F_b(k)$ 가 작은 블록은 적재가 어려워서 우선순위가 높은 블록을 선택한다.

코일의 우선순위는 식(6)과 같이 정의하였으며, 각 코일 $i(i=1, 2, \dots, M)$ 에 대하여 적재 용이성을 표현하기 위해 인덱스를 정의하였다.

$$F_c(i) = \sum_{k \in \Omega_i} N_y(k)L_k \quad \dots (6)$$

여기서 Ω_i 는 코일 i 를 할당 할 수 있는 블록 세트이다. 즉, $F_c(i)$ 가 작은 코일은 적재가 어렵기 때문에 우선순위가 높다. 두 개 이상의 코일이 동일한 $F_c(i)$ 값을 갖는 경우, 더 무거운 코일은 상위 레이어에 적재하기가 더 어렵기 때문에 더 무거운 코일이 더 높은 우선순위로 할당된다.

블록 우선순위에서 정의된 순서에 따라 하위 행이 생성되며, 그 후에 코일 우선순위에서 정의된 순서에 따라 코일을 검색하고 해당 직경이 블록에서 허용되는 경우 선택된다. 다음으로, 상부 열에 적재할 수 있는 코일을 무게순으로 검색하고 너비와 직경이 하부 두 코일에 허용되는 경우 선택하는 방식으로 철강 코일의 선적 및 배치를 최적화하였다.

IV. 결론

명확하게 작성된 적부계획은 선적 및 양하 작업 시 정확한 위치와 진행 절차에 대한 관련 업체들의 사전 협의로 최대한 효율적인 작업을 가능하게 하며, 이로 인한 선박의 빠른 출항 등 원활한 해상물류를 실현할 수 있다.

본 연구에서는 철강 코일의 선적 및 배치 자동화 시스템을 통해 화물 선적량이 선박의 제한 홀수보다

초과하거나, 적재 가능한 화물량보다 부족하게 선적하여 발생할 수 있는 운임 손실을 방지할 수 있는 방안을 제시하였다.

또한, 최적의 적재, 하역의 순서를 도출하여 적부 계획을 검토 및 조정하는 과정에서 일어나는 안전사고를 사전에 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 실적자료 기반의 수치 시뮬레이션을 통한 매개 변수의 영향을 분석하고, 유효성 확인을 통해 발생하는 문제점을 수정·보완한 알고리즘의 고도화에 관한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2022년도 순천대학교 교연비 사업에 의하여 연구되었음.

References

[1] J. Ham, "Development of Slender Doubler Plate Hybrid Design System for Ship Structure Subjected to Longitudinal In-plane Compression," *J. of ocean engineering and technology*, vol. 28, no. 1, 2014, pp. 20-27.

[2] S. Kim, J. Kwon, M. Jo, and W. Kim, "The Shipping Inspection and Balancing Operating System for Port special logistics Based on WEB," *J. of the Korea Institute Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 4, 2020, pp. 747-752.

[3] S. Kim, W. Lee, S. Oh, J. Lee, and W. Kim, "The Design of Automation Simulation System For Efficient Logistics Management," *J. of the Korea Institute Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 1, 2022, pp. 187-192.

[4] T. Kim, M. Ha, and S. Choi, "Effect of Cargo Employee Recognition of Work Environment on the Job Satisfaction and Organizational Commitment in the Port Industry," *J. of Korea Port Economic Association*, vol. 34, no. 4, 2018, pp. 85-104.

[5] J. Park, "Ship Detection Using Visual Saliency Map and Mean Shift Algorithm," *J. of the Korean Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 2, 2013, pp. 213-218.

[6] J. Park, K. Lim, and J. Lee, "On Optimal Design Methods for Steel Product Pallets," *Journal of Korean institute of industrial engineers*, vol. 34, no. 4, 2008, pp. 470-480.

[7] Y. Yu and Y. Lee, "A Study on the Hull Acceleration Analysis of Car Ferry Ship for Securing Safety Evaluation," *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, vol. 26, no. 6, 2020, pp. 587-593.

[8] G. Kim, "A Study on the Safe Transportation of a Non-Standardized Cargo (Steel Box) for General Cargo Ships," *J. of Korean Navigation and Port Research*, vol. 43, no. 6, 2019, pp. 444-449.

[9] G. Kim, "A Study on the Safe Transportation of a Non-Standardized Cargo (Steel Box) for General Cargo Ships," *J. of Korean Navigation and Port Research*, vol. 43, no. 6, 2019, pp. 444-449.

[10] D. Ku and C. Cho, "CPM Approach for the Analysis of Loading Plan in Roro Terminal," *Korea International Commercial Review*, vol. 24, no. 3, 2009, pp. 59-81.

[11] Korean Register, "Common Structural Rules for Shipping Cargo Ships and Oil Tankers," *Technical report*, July, 2015.

저자 소개



김상현(Sang-Hyun Kim)

2017년 광주대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
2020년 순천대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2022 ~ 현재 순천대학교 대학원 컴퓨터공학과 재학중(공학박사)

2018년 6월 ~ 현재 ㈜아이웍스 대표이사

※ 관심분야 : 디지털트윈, 빅데이터, AI



이 우 (Woo Lee)

2015년 청암대학교 컴퓨터정보
과 졸업(공학사)
2020년 순천대학교 대학원 컴
퓨터공학과 졸업(공학석사)

2022 ~ 현재 순천대학교 대학원 컴퓨터공학과
재학중(공학박사)

2018년~현재 ㈜아이웍스 기술개발부 이사 재직중

※ 관심분야 : 스마트팜, 홈네트워크, 사물인터넷
통신



김 원 중 (Woo-Jung Kim)

1987년 전남대학교 계산통계학
과 졸업(이학사)

1989년 전남대학교 대학원 전
산통계학과 졸업(이학석사)

1991년 전남대학교 대학원 전산통계학과 졸업
(이학박사)

1992년 ~ 현재 순천대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : RFID/USN, 빅데이터, Context
Awareness, 인터넷 서비스



오 승 홍 (Seung-Hong Oh)

2021년~현재 순천대학교 대학원
컴퓨터공학과 재학중(석박사통합)

2020년 9월 ~ 현재 코리안튜터 대표

※ 관심분야 : Web-RTC, 빅데이터, AI,



이주완 (Ju-Wan Lee)

2003년 목포해양대학교 항해학과
졸업(공학사)

2020~현재 순천대학교 경영행정
대학원 물류학과 재학중(물류학
석사)

2008년 9월 ~ 현재 아르고마린토탈(주) 상무이사

※ 관심분야 : 스마트항만, 물류플랫폼, IoT



손 민 우 (Min-Woo Son)

2019년 순천대학교 컴퓨터공학과
졸업(학사)

2021년 순천대학교 컴퓨터공학과
졸업(석사)

※ 관심분야 : 빅데이터, 영상처리, 컴퓨터 그래픽스

