

모듈러 경제성 확보를 위한 공장생산 프로세스의 다기능공 적용 방안

김학철¹ · 황영규² · 김경래*

¹아주대학교 건축공학과 · ²경기과학기술대학교 건축인테리어과

Study on the Application of Multi-skilled labors to Factory Production Process for Securing Economic Feasibility of Modular Unit

Kim, Hakcheol¹, Hwang, Youngkyu², Kim, Kyungrai*

¹Department of Architectural Engineering, Graduate School of Ajou University

²Department of Architectural and Interior Design, Kyeonggi College of Science and Technology

Abstract : The Construction industry is a labor-intensive industry that its labor cost takes up about 30~40% out of the whole construction cost. However, due to a stereotype that on-site work is a 3D job there is a shortage of the labor forces. Modular construction method is to produce modular units in the plant so that workers could work stably. Also, after delivering the module from plant to the site, there will be only installment to be required that shortens construction duration. Even though the modular market is currently expanding based on military facilities in Korea, its best strengths are not demonstrated well which are shortened construction period and low cost. It also causes labor problem of production due to minimum utilization of the modular construction method. Multi-skilled labor means a technician that is able to perform more than two kinds of work with more than two techniques. Multi-skilled labor can proceed smoothly by figuring out the connectivity between the precedent and following operations. Therefore, this research is to apply the concept of Multi-skilled labors, suggest solutions and allocate manpowers efficiently. As a result, it helps to decrease idle manpowers during the operation and the total labor forces can be saved. Low cost is the original strength of the modular which can stand out so the modular market is expected to expand.

Keyword : Modular factory production, Multi-skilled labor, Conveyor system

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 건설 산업은 노동집약적 산업임에도 불구하고 신규 인력이 유입되지 않고, 기존 인력이 고령화되어 최근 노무 인력의 한계를 경험하고 있다. 이와 같은 한계를 극복하기 위해 현 상황에서 부족한 인력을 효율적으로 활용하는 연구가 필요하다.

건축공사에서는 많은 공법들이 있지만 타 공법과는 다르게 공장생산을 기반으로 하는 모듈러 공법은 공장에서 50~90% 공정이 진행된다. 현장에서는 공장에서 만들어진 모듈을 설치만 하기 때문에 공기 단축효과를 얻을 수 있고, 같은 모듈을 반복 생산하여 경제성을 확보할 수 있고, 균일한 품질을 기대할 수 있다. 특히 공장에서 지속적인 공장생산을 가능한다면, 노무자들은 한 공장에서 한 분야의 직종을 꾸준히 종사할 수 있게 됨으로써 고정적인 투입인력을

사용하여 인력을 더 효율적으로 활용하여 노무비를 절감할 수 있다.

본 연구에서는 선행연구 “모듈러 공장생산 프로세스 개선을 위한 컨베이어시스템 적용 방안”(Bae, B., Kim, K., Cha, H., and Shin, D. 2012)을 기반으로 다기능공 적용을 통한 작업 인력배치를 효율적으로 하여 생산성 향상을 도모하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 먼저 모듈러 공장의 현재 상황을 알기 위해 현장 방문을 통한 설문조사를 실시하였다. 다기능공을 적용하기 위해서는 노무자들의 의사가 가장 중요하기 때문에 노무자 중심으로 설문조사를 실시하여 다기능공 도입의 실현 가능성에 대해 먼저 검토하였다.

그 다음으로 다기능공을 정의한 후 기존 프로세스에서 겹치는 작업과 유휴인원을 분석하여 각 작업장마다 몇 명의 다기능공을 투입해야 가장 효율적인지를 분석한다. 또한 다기능공 적용 전과 적용 후의 비용차이를 산정하고 시뮬레이션 프로그램인 Arena를 이용하여 타당성을 검증하고자 한다.

* Corresponding author: Kim, Kyungrai, Department of Architectural Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea
E-mail: kyungrai@ajou.ac.kr

Received June 21, 2013; revised November 1, 2013
accepted December 2, 2013

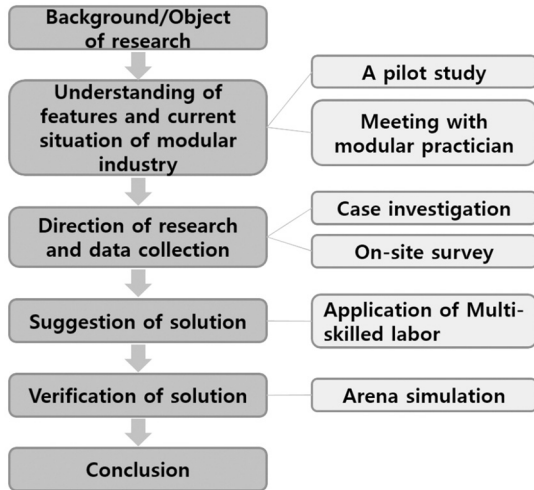


Fig. 1. Flow of research

2. 모듈러 공장 생산 인력 현황

2.1 다기능공의 정의

설문조사를 실시하기에 앞서, 설문 대상자들에게 다기능공에 대한 개념 설명이 필요하기 때문에 정의를 먼저 할 필요가 있다.

다기능공은 2가지 이상의 작업을 수행할 수 있는 기능공을 말한다. 다기능공은 현재 자신의 기술 이외에 다른 한 가지 이상의 기술을 더 배워 두 가지 작업을 수행하게 되는데, 이 다기능공은 다음 작업의 연계성을 알고 있어 선행과정과 후행과정의 연결을 자연스럽게 할 수 있는 장점을 가지고 있다. (Kim, K. and Lee, H. 2003)

비슷한 모듈을 반복 생산하는 모듈러 공장은 제조업과 많은 유사점을 가지고 있다. 하지만 한 현장에 들어가는 같은 형태의 모듈러의 수는 제조업에 비해 적고, 같은 모듈을 생산하는 과정 중에서도 공동 공간이나 복도 등의 다른 형태의 모듈도 생산해야 하는 경우가 생긴다. 다기능공이 있을 경우 협소한 작업장에서도 한 두 개의 다른 형태 모듈을 생산할 수 있다.

또한 국내의 모듈러 시장이 활발하지 않아 수요가 부족하여 실제 공장에서는 지속적으로 모듈을 생산하지 못하고 있다. 그러므로 공장에서 상근 인원은 모듈 생산 참여인원의 1/10도 채 되지 않는다. 이러한 상황에서 각 분야의 기능공들을 모두 상근시키는 것보다 여러 기술을 가진 다기능공이 있다면 상근하는 인원의 기능공도 줄어들게 되어 중간에 일이 없게 되더라도 유휴 인원이 줄어 인력비용을 줄일 수 있다.

2.2 다기능공에 관한 현장 설문조사

본 설문 대상지는 현재 ○○ 기업의 모듈러 제작 공장의 노무자들 47명을 대상으로 설문조사를 실시하여 총 38부의 응답을 받았다.

2.2.1 설문 대상자 연령대에 관한 설문

Fig. 2 를 보면 설문조사에 참여해준 대상자들만 해도 40~50대가 가장 많고 20~30대는 합쳐도 23%밖에 되지 않는다. 건설현장 노무자들은 전문적이지 않다는 인식으로 인하여 젊은 세대 인력들이 회피하고 있다. 이는 건설인력이 고령화 추세에 있다는 것을 보여준다.

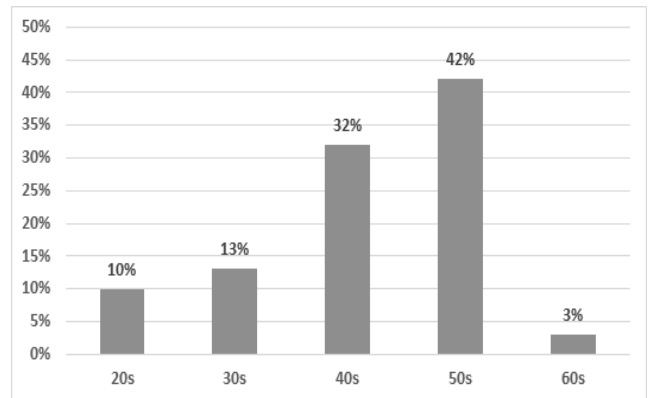


Fig. 2. Age group of the questionnaire subject

2.2.2 설문 대상자 실무 경력에 관한 설문

Fig. 3 에 나온 경력에 대한 설문 조사 결과, 노무자들의 경력은 0~25년 이상까지 고르게 분포되어 설문 대상의 관점에서 이는 경력에 따라 직업에 대한 숙련도 및 이해도가 다를 수 있으므로 이상적인 설문대상이라고 할 수 있다.

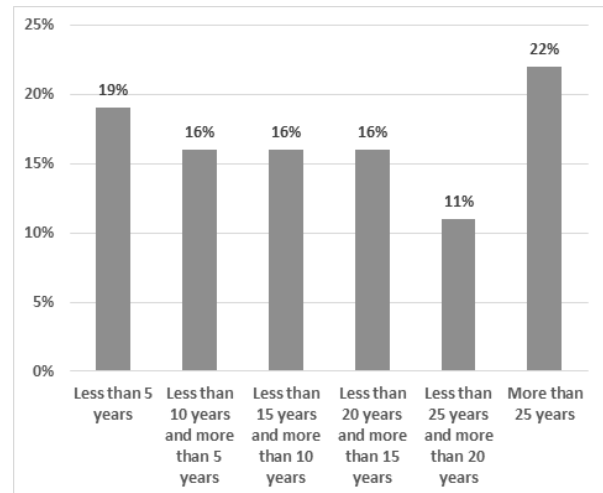


Fig. 3. Work experience of the questionnaire subject

2.2.3 다기능공 희망여부에 관한 설문

다기능공을 희망하는 노무자들은 임금상승이 17명의 선택으로 가장 큰 이유로 조사되었다.(Fig. 4 참조) 다음 이유는 미래보장과 기술공으로의 인정으로 조사되었다. 상당수의 노무자들이 임금상승과 동시에 미래보장 또는 능력을 인정받고자 하는 경향이 큼을 알 수 있었으며, 이는 노무자

입장에서도 다기능공의 필요성을 보여줄 수 있는 결과가 되겠다.

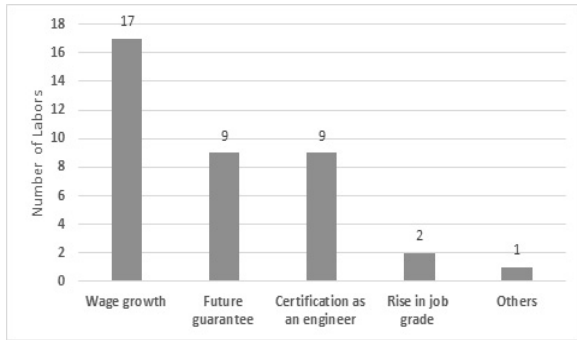


Fig. 4. Reason to be multi-skilled laborers(Possible duplicate)

3. 다기능공 적용 방안

3.1 다기능공에 적용 방안 개념

다음 그래프들은 다기능공 적용 방안을 설명하기 위하여 예시를 만든 것이다. 다기능공 적용 전과 다기능공 적용 후의 기능공 수를 나타낸 것으로 A작업을 할 수 있는 기능공과 B작업을 할 수 있는 기능공의 수를 5분 간격으로 30분 동안 표시한 것이다.

다기능공은 하나의 작업만 가능한 기능공보다 노무비를 더 높게 책정하고, 경제성 분석을 할 경우 최대 비용과 비교를 위해 타 작업자보다 높은 임금의 다기능공은 휴식시간이 없는 것으로 가정한다. 그러므로 다기능공의 과다투입은 오히려 그 단계의 총 노무비가 높아질 수 있기 때문에 A작업과 B작업의 최소 필요 작업 인력 수에 다기능공을 적용하도록 한다.

Fig. 5와 Fig. 6을 살펴보면 A작업자의 수는 처음부터 10분까지 6명의 작업자를, 10~15분에서는 3명의 작업자를, 15~25분에서는 0명의 작업자를 필요하게 된다. A작업을 수행하기 위해서는 최대 6명이 필요한 구간이 있기 때문에 A작업자는 6명을 유지해야 한다. 다시 말해, 처음부터 10분까지 최대 6명의 작업자가 작업하기 때문에 10~15분에서 3명, 15~25분에서 6명의 유휴인원이 생기게 된다.

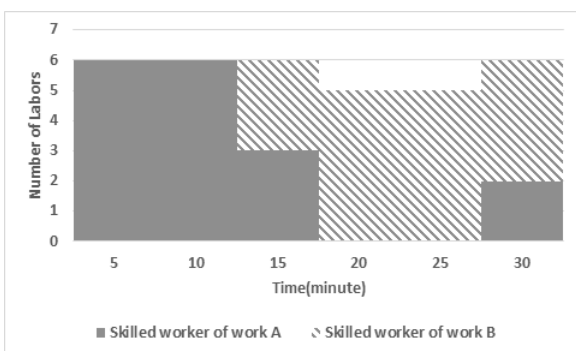


Fig. 5. Input labors before application of multi-skilled laborers

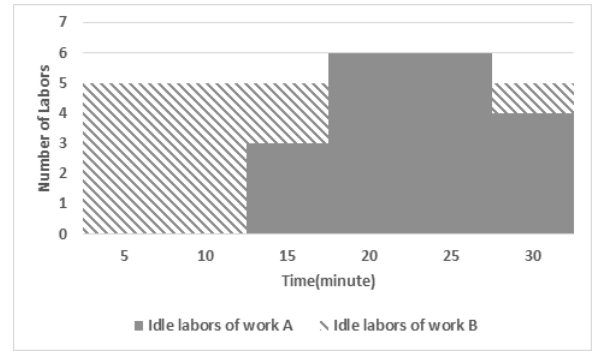


Fig. 6. Idle labors before application of multi-skilled laborers

B작업자의 경우도 A작업자와 마찬가지로, 0~10분까지는 필요하지 않지만, 그 이후에는 3~5명의 작업자가 계속해서 필요하게 된다. 이는 최대 필요 인원인 5명을 유지해야 하지만 5명이 필요하지 않은 시간에는 유휴인원이 발생하게 된다.

실제 건설현장과 마찬가지로 모듈러 공장의 노무비는 작업량이 아닌 일당으로 지급하기 때문에 이는 유휴인원의 발생으로 회사입장에서는 손실을 입게 된다.

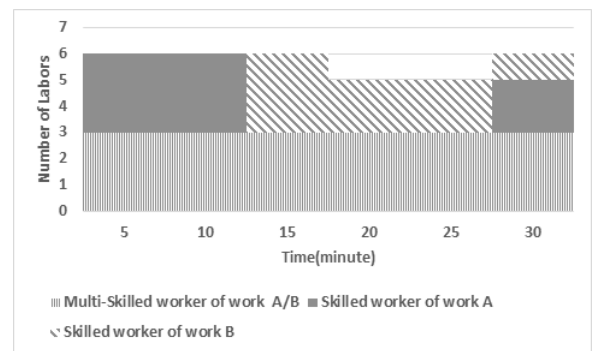


Fig. 7. Input labors after application of multi-skilled laborers



Fig. 8. Idle labors after application of multi-skilled laborers

하지만 Fig. 7과 Fig. 8을 보게 되면 다기능공을 도입하여 A작업과 B작업 모두 가능한 다기능공을 매 시간마다 3명씩 투입한 결과 A작업의 유휴인원은 최대 6명에서 3명으로 줄어들게 되었다.

Fig. 5와 Fig. 7에서 각 시간대별로 총 투입인력은 동일하지만 사실상 다기능공 적용 전의 투입인력은 A작업 기능

공 6명, B작업 기능공 5명이 필요하게 되므로 총 11명의 투입인력이 필요하다. 하지만 다기능공 적용 후의 투입인력을 보게 된다면 A작업 기능공 3명, B작업 기능공 3명, 다기능공 3명으로 총 9명의 투입인력이 필요하다.

이와 같이 두 가지 이상의 작업이 가능한 다기능공을 투입하면 유희인원이 줄어들게 됨으로써 노무비용을 줄일 수 있는 효과를 볼 수 있다.

3.2 컨베이어 시스템 연구

Fig. 9 는 컨베이어 시스템이 도입된 공장 배치도이다. 이를 보면 총 10개의 단계별 작업장에서 모듈이 제작되는 것을 알 수 있다. (Bae, B., Kim, K., Cha, H., and Shin, D. 2012) 전기/통신/소방 단계는 발주자의 요구사항에 따라 많이 달라지기 때문에 고려하지 않고, 나머지 9단계만 고려하도록 한다. 각 단계별로 두 가지 이상의 작업이 가능한 다기능공을 투입하여 유희인원이 줄어들도록 인력을 배치할 수 있다.

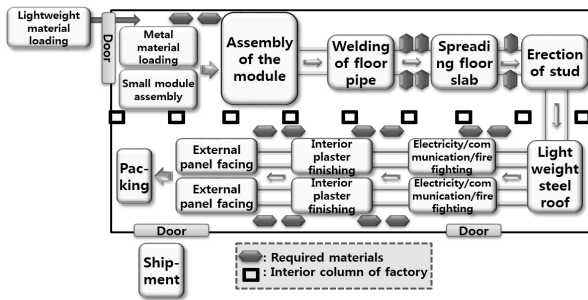


Fig. 9. Factory layout using conveyor system

Table 1 에서 나타내는 6,000*3,300*3,200의 모듈이 일반적으로 많이 사용되는 기본 크기이다. 물론 다양한 사이즈가 제작 가능하겠지만 모듈러 공법은 공장에서 유닛을 거의 완성시켜 운반하기 때문에 국내의 도로 폭에 의한 크기제한을 받는다. 때문에 다음과 같은 크기의 모듈을 대상으로 하여 본 논문을 진행하였다.

Table 1. A Module of the case study

| Classification | Unit | Width | Length | Height |
|----------------|------|-------|--------|--------|
| | mm | 3,300 | 6,000 | 3,200 |
| Floor plan | | | | |
| Elevation | | | | |
| Rear elevation | | | | |

Table 2. Manpower arrangement before application of multi-skilled labors(Detail work)

| Detail work | Role | Assembly of module | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | (Unit : Minute) | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|--|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|--------------------------------------|----|----|----|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|--|--|
| | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | 60 | 62 | 64 | | | | | | |
| One-way material transport and fixing(column) | Steel frame | 2 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| One-way frame assembly | Steel frame | | | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| One-way frame transport and load | Steel frame | | | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| One-way material transport and fixing | Steel frame | | | | | | | | | | | | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Two-way material transport and temporary bolt tightening(substructure) | Steel frame | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Two-way material transport and temporary bolt tightening(superstructure) | Steel frame | | | | | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Upper zig safe arrival and back slit makeready | Steel frame | | | | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bolt real tightening (substructure, superstructure) | Steel frame | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| lifting lug fixing and crane fasciation | Steel frame | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Basic frame transport and load | Normal | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Torque measurement and measurement correction | Steel frame | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Blocking up bolt hole and bright red oxide | Painting | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | | | | | |
| Input labor condition of steel frame worker | Total 8 persons | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 4 | 6 | Idle time of steel frame worker(8persons) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Input labor condition of normal worker | Total 3 persons | Idle time of normal worker(3persons) | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 3 | Idle time of normal worker(3persons) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Input labor condition of painting worker | Total 8 persons | Idle time of painting worker(8persons) | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | | |
| Total | | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 9 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | | | | | |

Table 3. Manpower arrangement after application of multi-skilled labors(Detail work)

| Detail work | Role | Assembly of module | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | (Unit : Minute) | | | | | | | | | |
|--|-----------------|--------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|----|----|----|---|---|---|---|---|--|
| | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | 60 | 62 | 64 | | | | | | |
| One-way material transport and fixing(column) | Multi-skilled | 2 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| One-way frame assembly | Multi-skilled | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Steel frame | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| One-way frame transport and load | Multi-skilled | | | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Steel frame | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| One-way material transport and fixing | Multi-skilled | | | | | | | | | | | | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Two-way material transport and temporary bolt tightening(substructure) | Multi-skilled | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Two-way material transport and temporary bolt tightening(superstructure) | Multi-skilled | | | | | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Upper zig safe arrival and back slit makeready | Multi-skilled | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Steel frame | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bolt real tightening (substructure, superstructure) | Multi-skilled | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Steel frame | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| lifting lug fixing and crane fasciation | Multi-skilled | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Multi-skilled | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Basic frame transport and load | Multi-skilled | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Normal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Torque measurement and measurement correction | Steel frame | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Blocking up bolt hole and bright red oxide | Multi-skilled | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Painting | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Input personnel condition of Multi-skilled labors | Total 6 persons | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | |
| Input personnel condition of steel frame worker | Total 2 persons | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Input personnel condition of normal worker | Total 1 persons | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Input personnel condition of painting worker | Total 2 persons | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 9 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | | |

3.3 다기능공 적용 방안

Table 2 와 Table 3 은 컨베이어 벨트 시스템의 총 10단계 중 3번째 모듈 조립 단계를 다기능공 적용 전과 적용 후를 비교해 놓은 표이다. 이 단계에서는 철골공과 도장공이 중점적으로 투입되기 때문에 앞서 말했던 다기능공 적용 예시와 마찬가지로 철골공, 도장공의 다기능공을 적용하여 유희인원을 줄였다.

적용 전의 표를 보면 볼트 구멍 막기 및 광명단 작업은 작업시작 40분 이후부터 총 8명의 도장공을 필요로 한다. 40분 전까지 8명의 도장공은 유희인원이 된다. 이를 개선하기 위해 철골공과 도장공의 두 가지 작업을 모두 가능한 다기능공 6명을 투입하였다. 다기능공의 투입으로 인해 도장공은 2명의 인원만 필요하게 되었고 철골공의 작업도 가능하기 때문에 다른 작업에서도 철골공 대신 다기능공을 투입하였다. 결과적으로 다기능공 적용 전에는 철골공 8명,

보통인부 3명, 도장공 8명으로 총 19명의 인원이 투입되어야 했지만 다기능공 적용 후에는 다기능공 6명, 철골공 2명, 보통인부 1명, 도장공 2명으로 총 11명만으로도 모듈 조립 단계 수행이 가능했다.

Fig. 10 은 Table 4 와 Table 5 의 적용 방법을 모든 단계에 적용해 본 결과이다. 총 인원은 다기능공 적용 전 97명과 다기능공 적용 후 73명으로 24명의 작업자가 줄어들었다. 내부마감 단계에서도 다기능공을 적용하면 총 인원이 줄어들게 되지만 비교적 일당이 높은 다기능공이 투입됨에 따라 총 노무비는 상승하므로 다기능공을 적용하지 않았다.

출하단계에서는 모든 세부 작업에서 낮은 일당의 보통인부 이외의 기능공을 필요로 하지 않기 때문에 역시 다기능공을 적용하지 않았다.

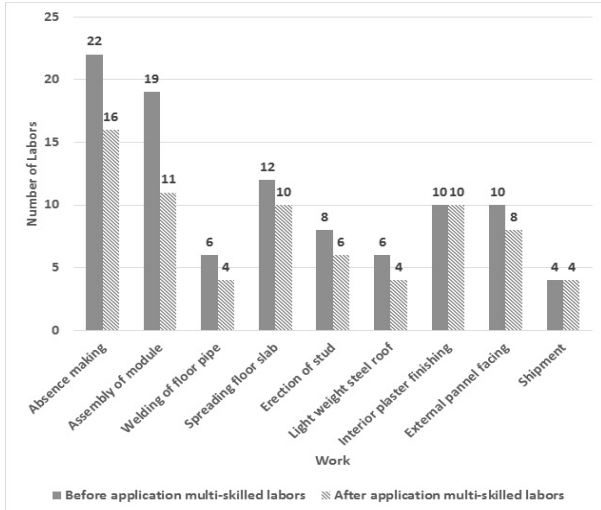


Fig. 10. Total input labors before and after application of multi-skilled labors

4. 검증

4.1 Arena¹⁾를 활용한 시뮬레이션

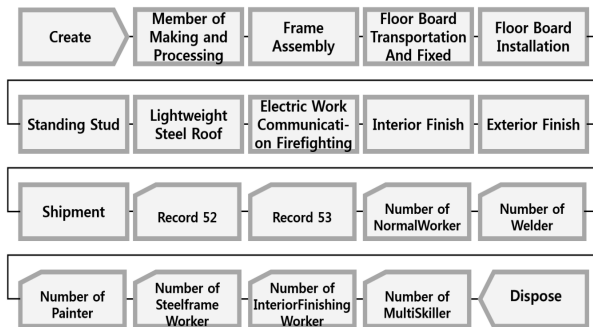


Fig. 11. Conveyor system applied module making simulation

Fig. 11 은 Fig. 9와 같은 컨베이어 시스템이 적용된 모듈 제작 공정을 시뮬레이션 한 전체적인 공정으로 다기능공 적용 전과 후가 같다. 이러한 개체들을 순서에 맞게 나열한 후 상세 리소스 값을 달리 하여 적용 전과 후의 차이점을 알아낼 수 있었다. 이때 사용된 변수로는 시간에 따른 각 공정별 기능공 투입인원과 투입된 기능공들의 하루 일당이 사용되었다. 하루 8시간을 노무자들의 근무 시간으로 하여 하루에 약 7.5개의 모듈을 생산할 수 있도록 설정하여 Fig. 12 와 Fig. 13 과 같은 다기능공 적용 전과 후 전체 공정 시뮬레이션 보고서를 확인할 수 있었다.

1) Arena는 산업공학에서 사용하는 프로그램으로 제조산업 분야에서 많이 활용되는 시뮬레이션 및 분석 프로그램이다. 적용될 시스템의 문제점을 평가하기 위해 실제 현장이나 공장에 임시로 시스템을 도입하려면 많은 비용과 시간이 필요하기 때문에 이러한 프로그램을 통해 결과 값을 예측해 볼 수 있다. 모듈러 공법도 타 제조 산업처럼 공장에서 상품을 완성하여 출하를 하기 때문에 Arena 프로그램을 통해 시뮬레이션을 함으로써 다기능공을 적용한 결과 값을 얻을 수 있었다.

메인 프로세스의 마지막 부분과 각 서브프로세스 마지막 부분에 있는 Record는 각 SET안에서 Scheduled된 리소스(인부)의 수를 세고 각 인부의 임금을 계산하여 각 공정 당 비용, 전체 공정의 비용을 계산한다. 보고서에서 최종적인 결과 값을 보여주기 위해 사용되었다. 여기서 SET란 같은 종류의 RESOURCE(인부)를 하나의 GROUP으로 만든 것으로 각 공정 프로세스에서 인부를 요청 할 경우 이 SET(인부 그룹)안에서 RESOURCE(인부)를 하나씩 꺼내서 사용하는 방식으로 코드를 설정했다. SET를 사용하지 않고 RESOURCE만 사용하는 경우 보다 좀 더 현실성을 부여하여 기능공들이 대기하고 있고, 각 시간별로 필요에 의한 인부에게 작업을 수행하게 시키고, 이 때 나머지 인원들은 유휴인원으로 설정하였다.

4.2 Arena 시뮬레이션을 통한 결과

Fig. 12 는 다기능공 적용 전 시뮬레이션 결과 값으로 각 단계별 투입 인력의 수와 노무비, 전체 공정에서의 각 기능공별 투입인원을 구하여 1일 인부들의 노무비와 총 투입인원을 구하였다. 1일 인부들의 노무비는 11,590,000원이고, 총 투입인원은 97명이 결과 값으로 나왔다.

| Tally | | | |
|---|------------|---------------|---------------|
| Expression | Average | Minimum Value | Maximum Value |
| 1. Absence of making and processing_Number of Workers | 22.0000 | 22.0000 | 22.0000 |
| 2. Frame assembly_Number of Workers | 19.0000 | 19.0000 | 19.0000 |
| 3. Floor board transportation and fixed_Number of Workers | 6.0000 | 6.0000 | 6.0000 |
| 4. Floor board installation | 12.0000 | 12.0000 | 12.0000 |
| 5. Standing stud_Number of Workers | 8.0000 | 8.0000 | 8.0000 |
| 6. Lightweight steel roof_Number of Workers | 6.0000 | 6.0000 | 6.0000 |
| 7. Interior finish_Number of Workers | 10.0000 | 10.0000 | 10.0000 |
| 8. Exterior finish_Number of Workers | 10.0000 | 10.0000 | 10.0000 |
| 9.Shipment_Number of Workers | 4.0000 | 4.0000 | 4.0000 |
| Cost of Absence of making and processing | 2740000.00 | 2740000 | 2740000 |
| Cost of Exterior finish | 1180000.00 | 1180000 | 1180000 |
| cost of Floor board installation | 1400000.00 | 1400000 | 1400000 |
| cost of Floor board transportation and fixed | 580000.00 | 580000.00 | 580000.00 |
| cost of Frame assembly | 2450000.00 | 2450000 | 2450000 |
| Cost of Interior finish | 1180000.00 | 1180000 | 1180000 |
| cost of Lightweight steel loof | 740000.00 | 740000.00 | 740000.00 |
| Cost of Shipment | 280000.00 | 280000.00 | 280000.00 |
| cost of Standing stud | 1040000.00 | 1040000 | 1040000 |
| Number of Interior Finishing Worker | 6.0000 | 6.0000 | 6.0000 |
| Number of Normal Worker | 34.0000 | 34.0000 | 34.0000 |
| Number of Painter | 12.0000 | 12.0000 | 12.0000 |
| Number of Plasterer | 12.0000 | 12.0000 | 12.0000 |
| Number of Steelframe Worker | 22.0000 | 22.0000 | 22.0000 |
| Number of Welder | 11.0000 | 11.0000 | 11.0000 |
| Total Cost | 11590000 | 11590000 | 11590000 |
| Total Number | 97.0000 | 97.0000 | 97.0000 |

Fig. 12. Simulation results before application of multi-skilled labors

Fig. 13 은 다기능공 적용 후의 결과 값들이다. 앞서 말한 방식으로 9개 단계에 다기능공을 효율적으로 투입하여 대부분의 단계에서 총 필요인력 수가 줄어 총 투입인원이 다기능공 적용 전보다 24명이 적은 73명으로 감소되었다.

| Tally | | | |
|--|------------|---------------|---------------|
| Expression | Average | Minimum Value | Maximum Value |
| 1. Member of Making and Processing_Number of Worker | 16.0000 | 16.0000 | 16.0000 |
| 2. Frame Assembly_Number of Worker | 11.0000 | 11.0000 | 11.0000 |
| 3. Floor Board Transportation and Fixed_Number of Worker | 4.0000 | 4.0000 | 4.0000 |
| 4. Floor Board Installation_Number of Worker | 10.0000 | 10.0000 | 10.0000 |
| 5. Standing Stud_Number of Worker | 6.0000 | 6.0000 | 6.0000 |
| 6. Lightweight Steel Roof_Number of Worker | 4.0000 | 4.0000 | 4.0000 |
| 7. Interior Finish_Number of Worker | 10.0000 | 10.0000 | 10.0000 |
| 8. Exterior Finish_Number of Worker | 8.0000 | 8.0000 | 8.0000 |
| 9. Shipment_Number of Worker | 4.0000 | 4.0000 | 4.0000 |
| Cost of Exterior Finish | 1240000.00 | 1240000 | 1240000 |
| Cost of Floor Board Installation | 1490000.00 | 1490000 | 1490000 |
| Cost of Floor Board Transportation and Fixed | 540000.00 | 540000.00 | 540000.00 |
| Cost of Frame Assembly | 1830000.00 | 1830000 | 1830000 |
| Cost of Interior Finish | 1280000.00 | 1280000 | 1280000 |
| Cost of Lightweight Steel Roof | 700000.00 | 700000.00 | 700000.00 |
| Cost of Member of Making and Processing | 2640000.00 | 2640000 | 2640000 |
| Cost of Shipment | 280000.00 | 280000.00 | 280000.00 |
| Cost of Standing Stud | 1000000.00 | 1000000 | 1000000 |
| Number of InteriorFinishingWorker | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| Number of MultiSkiller | 29.0000 | 29.0000 | 29.0000 |
| Number of NormalWorker | 17.0000 | 17.0000 | 17.0000 |
| Number of Painter | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| Number of Plasterer | 8.0000 | 8.0000 | 8.0000 |
| Number of SteelframeWorker | 12.0000 | 12.0000 | 12.0000 |
| Number of Welder | 3.0000 | 3.0000 | 3.0000 |
| Total Cost | 11000000 | 11000000 | 11000000 |
| Total Number | 73.0000 | 73.0000 | 73.0000 |

Fig. 13. Simulation results after application of multi-skilled labors

또한 총 인부들의 1일 노무비는 590,000원이 적은 11,000,000원으로 줄었다. 보고서의 결과 값들을 통해 다기능공을 적용할 경우 다기능공을 적용하지 않았을 경우보다 작업에 필요한 투입 인력이 줄어 노무비도 감소하는 것을 알 수 있었다. 노무비의 감소로 경제적 이득을 얻는 것뿐만 아니라 투입 인력이 줄었다는 것은 협소한 장소에서 더 효율적으로 작업할 수 있으며, 다기능공의 투입으로 일의 연관성을 파악하여 더 높은 품질의 모듈을 생산할 수 있게 된다. 지금까지 시뮬레이션을 통해 나온 값들을 아래와 같이 표로 정리하였다. (투입량 = Man * Hour)

Table 4 와 Table 5 는 다기능공 적용 전과 후의 1일 모듈 생산에 필요한 노무비를 산정해보기 위해 기능공별 투입량을 구하였다. 다기능공은 두 가지 이상의 기술을 갖고 있기 때문에 다른 기능공의 1일 노무비보다 많은 200,000원으로 가정하였다. 이 금액은 모듈 생산 공장 관리자들 인터뷰를 통해 반장 급의 일당으로 계산한 것으로 한 달에 20

일을 일한다고 가정하면 월 1,000,000 원을 더 받을 수 있는 금액이다. 또한, 다기능공 적용전의 총 임금에서 다기능공의 노무비를 뺀 다기능공 적용 후의 노무비의 차이는

$$11,590,000 - 5,200,000 = 6,390,000 \text{ 원}$$

이를 다기능공의 투입인원 29명으로 나누어 주면

$$6,390,000\text{원}/29\text{명} = 220,345\text{원}$$

이 금액 이상이 될 경우 경제적으로 이득이 없기 때문에 본 연구에서 제시한 공정과 인원 투입 시스템에서는 220,345원을 넘을 수 없다.

다기능공 적용 전과 후를 비교해보면 하루에 투입인원은 24명으로 총 투입량은 192MH가 줄어들며, 이는 192명의 인력이 한 시간동안 일하는 정도가 절약된다. 노무비로는 하루 590,000원을 줄일 수 있어 한 달 중 20일동안 공장이 가동된다면 총 11,800,000원의 노무비를 절감할 수 있다는 것을 알 수 있다. 하루 총 생산량은 평균 7.5개이기 때문에 한 달 동안 150개의 모듈을 제작할 수 있다.

Table 4. Input manpower and labor cost before application of Multi-skilled labors

| Classification | Unit price (Won) | Module output before application multi-skilled labors (1 day) | | |
|---------------------------|------------------|---|-------------------|------------|
| | | Total input labors (person) | Labor cost (Won) | Input (MH) |
| Normal worker | 70,000 | 34 | 2,380,000 | 272 |
| Steel frame worker | 150,000 | 22 | 3,300,000 | 176 |
| Interior finishing worker | 150,000 | 6 | 900,000 | 48 |
| Welding worker | 150,000 | 11 | 1,650,000 | 88 |
| Plastering worker | 150,000 | 12 | 1,800,000 | 96 |
| Painting worker | 130,000 | 12 | 1,560,000 | 96 |
| Multi-skilled labor | 200,000 | - | - | - |
| Total | | 97 | 11,590,000 | 776 |

Table 5. Input manpower and labor cost after application of Multi-skilled labors

| Classification | Unit price (Won) | Module output after application multi-skilled labors (1 day) | | |
|---------------------------|------------------|--|-------------------|------------|
| | | Total input labors (person) | Labor cost (Won) | Input (MH) |
| Normal worker | 70,000 | 17 | 1,190,000 | 136 |
| Steel frame worker | 150,000 | 12 | 1,800,000 | 96 |
| Interior finishing worker | 150,000 | 2 | 300,000 | 16 |
| Welding worker | 150,000 | 3 | 450,000 | 24 |
| Plastering worker | 150,000 | 8 | 1,200,000 | 64 |
| Painting worker | 130,000 | 2 | 260,000 | 16 |
| Multi-skilled labor | 200,000 | 29 | 5,800,000 | 232 |
| Total | | 73 | 11,000,000 | 584 |

5. 결론

국내 모듈러 공법은 수요자의 선호도가 낮아 시장이 활성화 되지 않고 있다. 가장 큰 이유로 아직까지 타 공법에 비해 수요가 적어 경제성 확보가 어렵다는 것이다. 해외는 모듈러 공법의 특성인 낮은 공사비와 빠른 공기를 활용하여 시장이 활성화되어 있으며, 시장이 활발함에 따라 품질 또한 좋아지고 있다. 이에 본 연구에서는 국내 모듈러 공법의 경제성 확보를 위한 방안으로 다기능공에 대한 검토를 수행하였다.

이에 본 연구에서는 두 가지 이상의 기술을 갖고 있는 다기능공을 적용하여 모듈러 공법의 경제성을 확보하고자 한다. 더 나아가 다기능공은 타 작업의 이해도가 높아 선·후행 작업에 대한 연계성을 잘 알고 있어 품질 또한 높아질 것을 기대할 수 있다. 타 공법보다 빠른 공기와 함께 가격 경쟁, 품질 경쟁에서 우위를 점하여 수요창출이 가능하다면 모듈러 공법이 활성화 되어 여러 분야에 사용될 것이라고 생각한다.

앞서 제시한 다기능공을 현업에 적용시키기 위해서는 모듈러 공법과 관련된 관리자 및 인부들의 노력이 필요하다. 모듈러 공법의 특성상 타 공법에 비해 경량 자재를 사용한다는 점과 고정된 위치에서 같은 작업을 반복적으로 한다는 것은 일반 현장에서 필요로 하는 기술보다 좀 더 난이도가 낮기 때문에 노무자들이 다른 기술을 습득하여 다기능공이 되는 것에도 이점이 있을 것이다. 기존 모듈러 생산 노무자들의 연령대가 높아 타 기술에 대한 교육에 거부감이 있는 한계를 가지고 있으나, 다기능공에 대한 충분한 비전을 제시한다면 젊은 인력 층의 유입과 현 인부들의 참여를 유도할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 일반연구자 지원 사업 - 기본연구지원사업(유형II)에 의한 결과의 일부임
 과제번호 : 2010-0023896

References

Kim, K., Yu, J., and Lee H. (2002). "A Conceptual Approach for Productivity Improvement in Construction Using Multi-Skilled Labor" *journal of Architectural institute of Korea, CAK*, 18(7), pp. 163-170.

Kim, K. and Lee H. (2003). "Skill Grouping for Utilizing Multiskilled Labor in Building Construction", *journal of Architectural institute of Korea, CAK*, 19(11), pp.

215-222.

Kim, W. (2012). "A Study on Energy Consumption and CO₂ Emission of Modular Construction Method : Focused on the Comparison with Alternative Methods for Suburban Housing", Ajou university 77ster's thesis.

Bae, B., Kim, K., Cha, H. and Shin D. (2012). "To Improve Production Process of the Modular Using the Conveyor System" *Korean journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 13(5), pp. 103-112.

Lee, K., Kim, K., Shin, D. and Cha H. (2011). "A Proposal for Optimizing Unit Modular System Process to Improve Efficiency in Off-site Manufacture, Transportation and On-site Installation", *Korean journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 12(6), pp. 14-19.

Jorge A. Castaneda, Richard L. Tucker, Carl T. Haas (2005). "Workers' Skills and Receptiveness to Operate Under the Tier II Construction Management Strategy", *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management* 131(7), pp. 799-807.

Jorge E. Gomar, Carl T. Haas, David P. Morton (2002). "Assignment and Allocation Optimization of Partially Multiskilled Workforce", *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management*, 128(2), pp. 103-109.

요약: 건설 산업은 순공사비 중 인건비 비율이 30~40%를 차지하는 노동집약적 산업임에도 불구하고 현장 노무자는 3D직업이라는 인식으로 인해 인력 부족을 겪고 있다. 모듈러 공법은 전체 공정의 대부분을 공장에서 수행하기 때문에 노무자들이 안정된 직업이라는 인식을 갖고 종사할 수 있으며, 모듈을 운반 후 현장 설치만 하면 되기 때문에 현장에서의 공정을 최소화하여 공기를 단축할 수 있다. 현재 국내에서는 군 병영시설을 중심으로 모듈러 시장이 확대되고 있지만, 다소 비효율적인 공장 생산으로 모듈러 공법의 가장 큰 장점인 공사기간 단축의 효과가 달성되지 못하고 있다. 특히, 모듈러 공법은 타 공법에 비해 상용화되어 있지 않아 지속적인 수주가 어렵기 때문에 인력에 대한 문제가 항상 제기되고 있다. 다기능공은 두 가지 이상의 기술을 가지고 두 가지 이상의 작업을 수행할 수 있는 기능공을 말하며, 선행 작업과 후행 작업의 연계성을 파악할 수 있어 매끄럽게 일이 진행될 수 있도록 하는 역할을 한다. 따라서 본 연구는 다기능공을 모듈러 공장 생산에 적용하여 경제성을 향상시키고자 한다. 인력을 효율적으로 배치시킴으로써 작업 중 발생하는 유휴인원을 줄이고 총 투입인력을 감소시켜 인건비를 줄일 수 있다. 모듈러 원래의 장점인 짧은 공사기간과 더불어 낮은 비용을 부각시켜 모듈러 시장의 활성화를 기대할 수 있다.

키워드 : 모듈러 공장생산, 다기능공, 컨베이어시스템
