

# 공장가공에 따른 샌드위치 패널공사의 생산성 및 경제성 분석

## Productivity and Economic Analysis of Sandwich Panel Construction Work by Shop Fabrication

조 동 열\*  
Cho, Dong-Ryul

손 재 호\*\*  
Son, Jac-Ho

이 승 현\*\*\*  
Lee, Seung-Hyun

### 요 약

1970년대부터 고도의 산업발전을 이루기 시작한 국내 건설현장에서 저렴한 공사비용 및 간편한 시공성 등을 장점으로 샌드위치패널을 활용한 건축물이 급격하게 증가하는 실정이다. 하지만 샌드위치 패널의 시공을 담당하는 기업들은 대형 건설업체보다 중소건설업체인 관계로 생산성 향상을 위한 연구가 부족한 상황이다. 본 연구는 샌드위치패널공사 현장조사를 하여 작업조별 작업사이클을 분석하고 Webcyclone을 이용한 모델링을 하였으며, 각 작업조별 생산성 및 공사금액을 분석하였다. 또한 생산성 영향요인중 하나인 패널의 가공장소에 따른 생산성 및 공사금액의 변동을 민감도 분석하여 각 작업조별 최적화된 생산성 및 공사금액을 분석하였다. 분석결과 공장가공 작업조가 현장가공 작업조에 비하여 약 30% 정도의 생산성이 향상됨으로 조사되었고, 공사비용 분석 결과 약 15% 정도의 공사비용이 증가됨으로 조사되었다. 또한 개구부 비율에 따른 민감도 분석에 의하여 약 20% 정도의 개구부를 공장에서 가공을 하였을 때 공사금액 최적화가 이루어짐을 보여준다.

**키워드:** 샌드위치패널공사, Web-Cyclone, 작업조 생산성, 패널공장가공

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

1970년대부터 고도의 산업발전을 이루기 시작한 국내 건설현장에서 저렴한 공사비용 및 간편한 시공성 등을 이점으로 샌드위치패널을 사용한 건축물 건축이 급속하게 증가하게 되었으며 현재 샌드위치패널 건축물을 가장 많이 허용하는 국가 중 하나이다. 국내 샌드위치패널의 용도는 공업용 65%, 창고 25%, 주택10%등으로 확대되는 경향이다.(이세현, 2003)

샌드위치 패널공사 시장 규모는 커지고 있으나, 샌드위치 패널 시공을 담당하는 업체의 경우는 대형 건설기업보다 중소건설업체에서 시공하고 있는 실정이다. 이러한 중소건설업체들이 주체가 되어 시공이 이루어짐에 따라 공법의 표준화나, 최적화 작업조구성 등 생산성향상을 위한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 공장, 창고 등의 건축물 공사에 주로 사용하고 있는 샌드위치패널공사에 대한 선행연구를 분석하였다. 이를 바탕으로 전문가 인터뷰, 현장실사 등을 통하여 샌드위치 패널공사의 공중 중 패널가공작업의 유무에 따라 달라지는 작업조의 사이클을 분석하고, 작업사이클 분석을 통하여 각 작업조별 생산성 및 공사금액을 분석하여 현장에서 작업조 선택 시 가이드 라인을 제시하는 것을 목적으로 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

다음 그림 1은 연구 수행절차를 나타낸 것이다.

첫째, 샌드위치 패널공사의 개념과 기존 연구에 대한 이론적 고찰을 실시한다. 둘째, 사례대상 건물을 선정하여 현장조사 및 전문가와 인터뷰를 통하여 현장 정보를 축적한다. 셋째, 축적된 현장정보를 바탕으로 모델링을 하고, 한국물가정보원과 장비업

\* 일반회원, 홍익대학교 건축공학과 석사과정, cdr810915@nate.com

\*\* 일반회원, 홍익대학교 건축공학과 부교수, 공학박사, jhson@hongik.ac.kr

\*\*\* 일반회원, 홍익대학교 건축공학과 조교수, 공학박사(교신저자), siee413@hongik.ac.kr

체들을 대상으로 조사를 기반으로 분석된 노무비, 재료비, 경비를 적용하여 공사금액을 산정한다.

또한 생산성에 영향을 미치는 인자를 분석하여 패널가공의 작업조 및 현장시공 유무에 따른 민감도 분석을 실시하여 최적 대안을 산정한다.

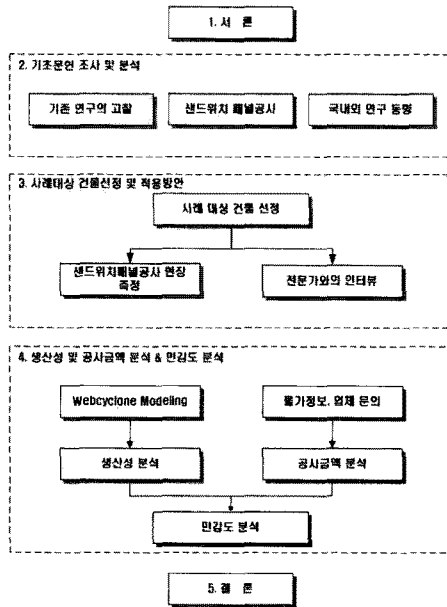


그림 1. 연구의 수행 절차

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 샌드위치 패널의 개요

샌드위치 패널은 다음 표 1에 나타난 것과 같이 양면에 강판과 내부 심재인 단열재로 구성된 복합 패널 제품으로서의 구성을 말한다. 자동 연속 생산라인에서 표면제 재료인 양면의 강판 사이에 단열재를 접착 및 성형하여 건물의 내·외장재로서 갖추어야 할 외관, 단열, 구조, 방수 및 시공성 등의 요소를 동시에 만족시켜주는 대표적인 조립식 자재이다.

표 1. 샌드위치패널의 구성

구성요소	종류	역할
표면재	석고보드계, 시멘트보드계, 목질보드계, 금속판계, 합성수지계	모양형성, 하중분산, 방화방수, 단열, 차음 등
심재	스티로폼, 우레탄, 글라스울 종이허니컴, 요소수지, 압면 등	단열, 차음 등
고정재 조정재	앵커, 볼트, 콘크리트못 등 조장볼트 (높이조정 가능)	샌드위치패널 고정
기밀재 및 마감처리재	백업재, 코킹재	틈 매우기, 시공오차 및 충격흡수, 차음성수효과 향상 등

1970년대 후반 처음으로 샌드위치패널을 국내에서 생산한 이래, 짧은 기간에도 불구하고 연매출 1조원을 육박하는 시장규모를 가지며 200여개 이상의 생산업체에서 연간 생산 1억㎡에 달하는 샌드위치패널이 공장과 창고, 마트와 같은 공업용 및 상업용 건물에 광범위하게 적용되고 있다. 1980년대 말 건축시장의 급속한 팽창으로 건축자재의 부족현상과 인력의 부족이 발생하는 상황에서 시공이 편리하고, 단열성이 뛰어나며, 가격이 상대적으로 저렴하다는 장점으로 샌드위치패널의 수요가 급증하였다. 또한 고유가 및 에너지 절약정책의 강화에 따라 샌드위치패널은 중요한 건축자재가 되었다.

샌드위치패널의 장점은 경량 구조체로서 가격이 저렴하고 강성이 우수한 점이다. 또한 자재의 규격화로 시공이 간편하여 공사기간이 단축됨으로써 시공비 절감 등 비용대비 경제성이 우수하다고 할 수 있다(임홍순, 2002).

### 2.2 샌드위치 패널관련 연구동향

현재까지 진행된 샌드위치패널의 생산성 관련 연구는 샌드위치 패널의 재료적 생산성에 관련된 연구가 주를 이루어져 왔으나, 공법에 관한 연구는 매우 부족한 상황이다. 이소미(2006)와 정정호(2006)는 샌드위치패널의 단점인 화재의 취약성과, 차음 성능 및 인체의 유해성 등을 개선할 경우 샌드위치 패널의 장점인 경량성, 시공의 용이성을 극대화할 수 있다는 점을 기반으로 재료적인 접근을 통하여 연구 하였다. 강내민(2003)은 샌드위치 패널의 강도개선효과, 흡수율 및 열전도특성 등을 연구하였고, 김영찬(1996)은 거푸집용 합판의 대용으로 샌드위치패널을 적용하기 위하여 샌드위치 패널의 단면구조해석, 시공성 및 작업성에 관한 연구를 하였다. 김선우(1998), 김윤재(2003), 이병권(2004)은 차음성능개선에 관한 연구를, 손철수(2000), 최훈국(2007)은 단열성능향상에 관한 연구를 하였다. 이와 같이 그동안 샌드위치패널에 관한 연구들을 살펴보면 대부분 재료적인 성능향상에 관한 연구들이 주를 이루어왔다.

패널공사에 관한 기존 선행 연구 고찰 결과 그동안 샌드위치 패널의 공법과 작업구성에 따른 생산성 분석에 관한 연구가 부족한 것으로 조사되었다.

### 2.3 Webcyclone을 활용한 생산성 연구동향

Cyclone을 활용하여 생산성을 분석한 연구에 관해 살펴본 결과 석현수(2008)는 Webcyclone을 이용하여 철골 및 PC 구조의 생산성에 관하여 분석하였다. 이시욱(2006)은 Webcyclone을 이용하여 카리프트 평균속도의 변화에 따른 생산성을 측정하였다. Sangyoub Lee(2004)는 Cyclone을 전사적 자원관리에 적용하여 활용하였다. 정희경(2005)의 경우 현장조사를 기

반으로 거꾸집 작업 프로세스 분석과 각 작업자별 생산성분석을 하였다.

Cyclone의 활용에 관한 기존 연구 고찰 결과 반복적인 작업을 수행하는 분야에 관하여 활용되었음을 알게 되었다. 샌드위치 패널공사 역시 반복적인 작업의 특징을 가지고 있는 공사임에 따라 Webcyclone을 적용하여 생산성을 분석하였다.

본 연구에서 활용된 Webcyclone은 Web 기반 건설 시뮬레이션으로서 표 2는 모델링을 위한 기본요소인 NORMAL, COMBI, QUEUE, COUNTER, ARC를 나타낸 것이다. (Seungwoo Han, 2006)

표 2. Webcyclone 모델링을 위한 기본요소(Halpin, 1998)

기호	이름	내용
	NORMAL	대기시간 없이 하나의 resource가 다음 작업으로 진행되는 상태
	COMBI	선행에 2개의 QUEUE를 가지며 2개의 resource를 가질 때의 상태
	QUEUE	작업을 대기하는 상태
	COUNTER	한 Cycle의 완료를 표현
	ARC	resource의 흐름

### 3. 샌드위치 패널공사 분석

#### 3.1 샌드위치 패널공사 모델링

샌드위치 패널공사의 생산성 및 공사금액을 산출하기 위하여 우선 프로세스 분석 및 모델링을 실시해야한다. 따라서 샌드위치 패널공사의 모델링을 위하여 현장조사와 전문가 인터뷰를 통한 자료수집을 하였다.

현장조사는 충청북도 이월공단 내 OO공장과 경기도 판교 내 OO공장, 화성시 OO공장, 충청남도 아산시 OO공장, OO학교 신축현장, 조치원내 OO창고현장을 실시를 하였으며 조사방법은 측정자가 현장에서 샌드위치패널의 각 작업별 작업시간을 타이머를 활용하여 반복적으로 데이터를 수집하였다. 본 연구에서는 샌드위치패널공사가 한 장씩 반복적으로 Cycle을 이루며 시공이 이루어지고 있기 때문에 작업사이클 분석을 통한 생산성을 분석하였다. 작업사이클분석이란 반복적인 작업 분석을 통한 생산성 분석방법으로서 적용 공법에 따른 작업공정 및 작업조건, 작업조 구성 등의 조합된 분석을 통해 생산성 지표를 산출하는 것이다(장완복, 2003). 이러한 작업사이클분석을 통해 수집된 데이터를 기반으로 샌드위치 패널공사의 프로세스를 분석하였다.

샌드위치 패널공사의 프로세스 구축은 현장에서 각 노무자들

의 작업을 그룹화 하여 각 해당 작업시간 및 절차를 조사한 후 프로세스를 구축 하였다. 그룹화 된 작업을 작업조라 칭하고 구성원의 작업분석은 작업시간, 전후 작업정보 등을 종합적으로 분석함으로써 정확한 작업조별 프로세스를 구축하였다.

샌드위치 패널공사의 기본적인 작업조 구성은 노무자로만 구성된 작업조, 노무자와 고소작업차로 구성된 작업조, 노무자와 크레인으로 구성된 작업조로 크게 3가지 종류의 작업조로 구성된다. 이 작업조 중 노무자로 구성된 작업조의 경우 세부적으로 분류하면 9인, 7인, 6인으로 구성된 작업조로 세분화 할 수 있는데 이는 작업분업의 차이로 나타난다. 따라서 총 5가지의 작업조로 구분할 수 있다.

본 논문의 샌드위치 패널공사의 작업조 구성을 분류하면 현장에서 패널을 가공하는 프로세스를 가지는 현장가공 작업조와 공장에서 패널을 가공하여 현장에서 설치하는 공장가공 작업조로 나눌 수 있다. 기본적인 작업조 5가지와 패널가공 장소에 따른 2가지 작업조를 조합하면 다음 표 3에서 보는 것과 같이 총 10가지 작업조에 관하여 비교 분석 하였다.

표 3. 샌드위치 패널공사의 작업조 구성

구성	현장가공작업조	공장가공작업조
노무자	9인작업조	7인작업조
	7인작업조	5인작업조
	6인작업조	4인작업조
노무자·장비	6인 + 고소작업대	4인 + 고소작업대
	7인 + 스카이	5인 + 스카이

샌드위치 패널공사의 작업조의 일반적인 프로세스는 다음 그림 2와 같다.

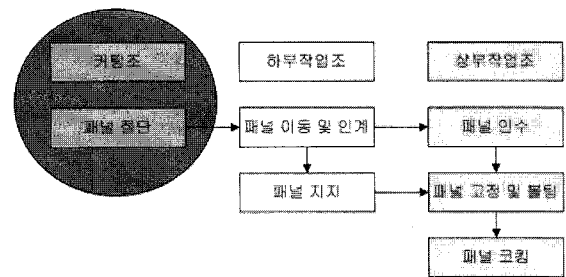


그림 2. 일반적 현장가공 작업조 프로세스

현장가공 작업조는 패널을 현장에서 가공하는 작업조이다. 커팅작업조가 패널을 가공하면, 하부작업조가 패널을 이동하고 이를 상부작업조에 인계 후 패널을 지지한다. 상부작업조는 패널을 설치위치에 고정시킨 후 볼팅을 하며, 마무리로 패널을 코킹하는 프로세스로 진행된다.

이러한 작업조의 프로세스를 Cyclone을 통하여 구현한 모델은 다음 그림3과 같다.

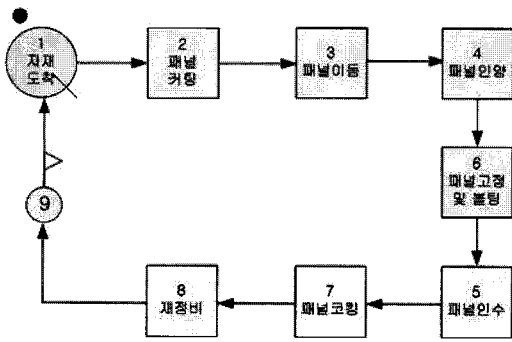


그림 3. 일반적 현장가공 작업 프로세스 모델링

공장가공 작업조의 프로세스를 일반적으로 나타내면 그림 2의 커팅조의 작업이 공장에서 이루어짐에 따라 커팅조를 제외한 작업조를 구성한다.

### 3.2 샌드위치 패널공사 분석

앞 절에서 제시한 방법으로 구현된 모델링을 Webcyclone을 활용하여 다음 두가지 방법으로 생산성을 분석하였다.

첫 번째는 Cycle당 생산성 분석을 하기 위하여 Cycle 횟수를 300으로 실시하였다. 300번으로 실시할 경우 오차의 한계가 0.001 이하로 나타나기 때문이다. 또한 입력값인 작업시간을 최소, 최대, 평균값으로 입력하기에 적은 Cycle횟수로 신뢰성 있는 생산성 분석이 어렵기 때문이다.

두 번째는 하루 평균 작업시간을 기준으로 일별로 샌드위치 패널이 얼마나 설치 될 수 있는가를 가늠하기 위해 작업시간을 8시간으로 가정하여 분석하였다.

샌드위치 패널공사의 생산성을 측정단위는 1분당 설치하는 패널의 장수로 분석하였다.

$$(Cycle / 1분) = 단위 생산성 (장/min)$$

단위를 통일하는 방법은 Webcyclone의 한 Cycle당 1장의 샌드위치패널을 시공하는 것임으로 Cycle 횟수를 시간(분)으로 나누는 값으로 산출하였다.

공사금액분석은 재료비, 노무비의 경우 한국물가정보원, 장비는 렌탈회사들을 대상으로 조사를 하여 금액을 산정 후 분석하였다. 하루에 8시간(480분) 작업을 한다는 가정 하에 앞 절에서 제시한 방법으로 모델링한 프로세스를 시뮬레이션을 통해 300장을 설치하는데 걸리는 일수를 산정하여 노임단가와 일위대가를 산출하였다. 이렇게 산정된 단가에 패널의 설치장수를 곱하여 공사금액을 산정하였다.

본 연구에서는 샌드위치 패널공사의 생산성 영향요인중 하나

인 패널의 가공장소에 따른 분석을 실시하였다. 또한 패널의 가공 유무에 따른 생산성 및 공사금액에 어느 정도 영향을 미치는 것에 관하여 민감도 분석을 실시하였다.

## 4. 사례연구

### 4.1 현장가공 작업조

현장가공 작업조는 다음 표 4에서 보는 것과 같이 9인, 7인, 6인, 6인+고소작업대 2대, 7인+스카이 1대로 구성된다.

표 4. 현장가공 작업조 구성

구분	구성원
9인	커팅조, 이동조, 상부작업조, 하부작업조, 코킹조
7인	커팅조, 단순작업조, 숙련작업조, 점검 및 코킹작업조
6인	커팅작업조, 단순작업조, 숙련작업조
6인 + 고소작업대	커팅조, 상부작업조, 하부작업조, 고소작업대
7인 + 스카이	커팅조, 상부작업조, 하부작업조, 스카이

다음 표 5는 현장에서 패널을 가공하는 노무자 9인으로 구성된 작업조의 업무 프로세스이고, 각각의 작업구성원의 업무와 업무별 소요시간, 인원수로 작성되었다. 소요시간은 총 10회 측정하였고 최소시간, 최대시간, 평균시간으로 분석하였다.

표 5. 노무자 9인으로 구성된 작업조 분석

작업조	업무	시간(분)			인원수
		최소	최대	평균	
커팅	패널 가공	1.3	3.1	2	2
이동	패널 이동	0.4	0.7	0.5	2
상부	패널 인수	1.3	3.3	1.5	2
	패널 고정 및 볼팅	2.4	4.1	3	
하부	패널 인계	1.3	3.3	1.5	2
	사다리고정	2.7	5.7	3	
코킹	패널 코킹	1.4	2.4	2	1
총 계	노무자 9인				

이러한 작업조의 프로세스를 Cyclone을 통하여 구현한 모델은 다음 그림 4와 같다.

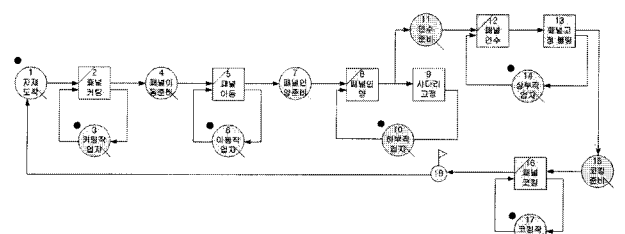


그림 4. 현장가공 9인 작업조 모델링

다음 표 6은 현장에서 패널을 가공하는 노무자 7인으로 구성된 작업조의 프로세스이다. 7인작업조는 9인작업조와 달리 이동

작업조의 업무를 단순작업조가 병행하여 2명을 감소하는 프로세스이다.

표 6. 노무자 7인으로 구성된 작업조 분석

작업조	업무	시간(초)			인원수
		최소	최대	평균	
커팅	패널 가공	1.3	3.1	2	2
단순 작업조	패널 이동	0.9	1.4	1.1	
숙련 작업조	패널 고정	1.6	2.4	1.9	2
	패널 볼팅(상부)	0.7	1.1	0.9	
점검 및 코킹 작업조	패널 볼팅(하부)	0.6	1	0.8	1
	패널 점검 및 코킹	1.9	2.3	2.1	
총 계	노무자 7인				

이러한 작업조의 프로세스를 Cyclone을 통하여 구현한 모델은 다음 그림 5와 같다.

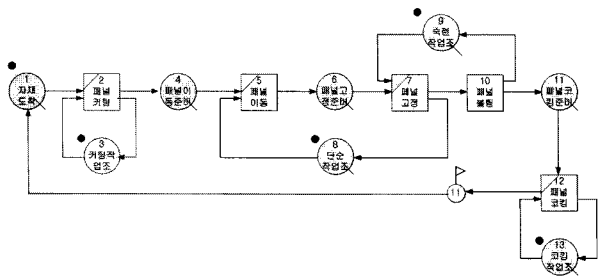


그림 5. 현장가공 7인 작업조 모델링

다음 표 7은 현장에서 패널을 가공하는 노무자 6인으로 구성된 작업조의 프로세스이다. 6인작업조는 9인작업조와 달리 이동작업조의 업무를 단순작업조가 병행을 하여 2명을 감소하고, 코킹작업조의 업무를 숙련 작업조가 병행하여 1명을 감소하며, 총 3명이 감소하는 프로세스이다.

표 7. 노무자 6인으로 구성된 작업조 분석

작업조	업무	시간(초)			인원수
		최소	최대	평균	
커팅	패널 가공	1.3	3.1	2	2
단순 작업조	패널 이동	0.7	1.2	0.9	
숙련 작업조	패널 고정	1.8	2.2	2	2
	패널 고정	1.8	2.2	2	
숙련 작업조	패널 볼팅(상부)	1	1.6	1.3	2
	패널 볼팅(하부)	0.7	1.1	0.9	
	패널 코킹	0.7	1.2	1	
총 계	노무자 6인				

이러한 작업조의 프로세스를 Cyclone을 통하여 구현한 모델은 다음 그림 6과 같다.

다음 표 8은 현장에서 패널을 가공하는 노무자 6인과 고소작업대 2대로 구성된 작업조의 프로세스이다. 6인작업조에

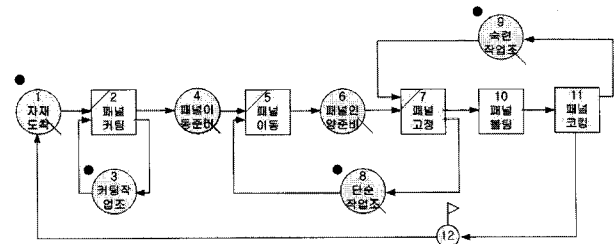


그림 6. 현장가공 6인 작업조 모델링

표 8. 노무자 6인 + 고소작업대로 구성된 작업조 분석

작업조	업무	시간			인원수
		최소	최대	평균	
커팅	패널 가공	1.6	2.5	2	2
상부	패널 고정	0.4	0.7	0.5	
	방향줄 풀기	0.2	0.6	0.3	
	로프풀기	0.3	0.9	0.5	
	패널 볼팅	0.5	0.8	0.6	
	패널 코킹	0.4	0.7	0.6	
하부	패널이동	0.1	0.4	0.2	2
	로프풀기	0.4	0.8	0.5	
	방향줄 걸기	0.2	0.5	0.3	
고소작업차	패널 지지 및 운전	2.7	4.2	3.3	2
	자재 인양	0.4	0.5	0.5	
총 계	노무자 6인 장비 2대				

고소작업대 2대가 추가되어 구성된 작업조이다. 이 작업조는 장비를 활용하여 안정된 위치에서 작업을 하기 때문에 각 작업시간의 축소를 가져오는 특징을 가진 프로세스이다.

이러한 작업조의 프로세스를 Cyclone을 통하여 구현한 모델은 다음 그림7과 같다.

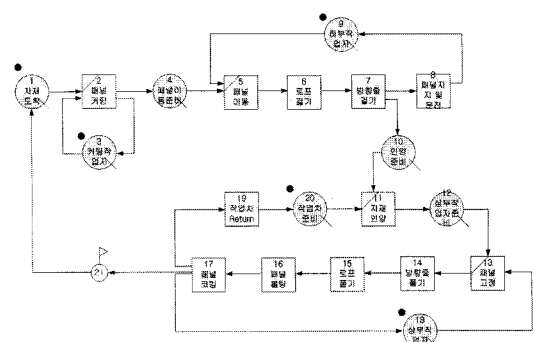


그림 7. 현장가공 6인 + 고소작업대 작업조 모델링

다음 표 9는 현장에서 패널을 가공하는 7인작업조에 스카이 1대가 추가된 작업조의 프로세스이다. 이 작업조는 고층부 위치에서 작업을 하기 때문에 각 작업시간이 길어지지만 고층작업을 할 수 있는 특징을 가진 프로세스이다.

이러한 작업조의 프로세스를 Cyclone을 통하여 구현한 모델은 다음 그림8과 같다.

각 작업조별 생산성 및 장별 설치시간을 살펴보면 표 10과 같다. 노무자 6인 + 고소작업대 2대로 구성된 작업조의 생산성이 가장 높게 나왔고, 노무자 7인으로 구성된 작업조의 생산성이 가장 낮게 분석되었다.

표 9. 노무자7인 + 스카이로 구성된 작업조 분석

작업조	업무	시간			인원수
		최소	최대	평균	
커팅	패널 가공	1.9	3.5	3	2
	패널 고정	1.6	2.9	2	
	방향줄 풀기	0.2	0.5	0.3	
상부	로프틀기	0.3	1	0.5	2
	패널볼팅	1.6	2.8	2.2	
	패널코킹	0.7	1.5	1	
	로프걸기	0.3	0.6	0.5	
하부	방향줄 걸기	0.1	0.2	0.2	2
	패널 지지	5.6	7.5	6	
스카이	자재 운반	0.9	1.2	1	1
	작업 준비	0.8	1.5	1	
총 계	노무자 7인 장비 1대				

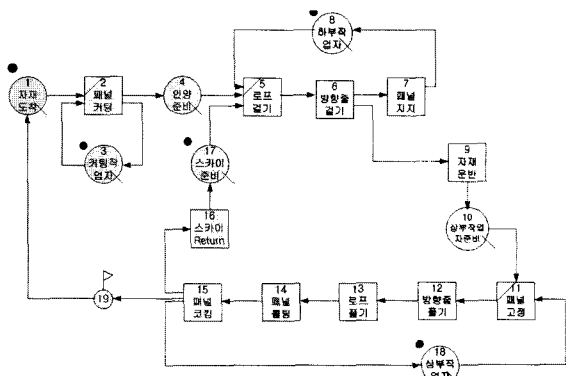


그림 8. 현장가공 7인 + 스카이 작업조 모델링

표 10. 현장가공 작업조별 생산성 분석결과

현장가공작업조	9인	7인	6인	6인 + 고소작업대 2대	7인 + 스카이1대
단위생산성 (정/분)	0.086	0.085	0.138	0.16	0.093
설치 시간 (분/정)	11,628	11,765	7,246	6,25	10,748
설치 정수 [정]	300	300	300	300	300

## 4.2 공장가공 작업조

공장커팅 작업방식은 패널을 공장에서 가공하여 현장에 반입을 하는 작업방식이다. 단순작업조가 패널을 이동 후 이를 숙련 작업조와 함께 패널을 고정시킨다. 그 뒤 숙련 작업조가 패널 볼팅과 마무리 코킹작업까지 하는 프로세스로 진행된다. 이러한 공장커팅 작업조는 7인, 5인, 4인, 4인 + 고소작업대, 5인 + 스카이로 구성된다.

표 12는 공장에서 패널을 가공하는 노무자 7인으로 구성된 작업조의 프로세스이다. 각각의 작업구성원의 업무와 업무별 소요 시간, 인원수로 작성되었다. 소요시간은 총 10회 측정을 하였고 최소시간, 최대시간, 평균시간으로 분석하였다.

표 11. 공장가공 작업조 구성

구분	구성원
7인	이동조, 상부작업조, 하부작업조, 코킹조
5인	단순작업조, 숙련작업조, 점검 및 코킹작업조
4인	단순작업조, 숙련작업조
4인 + 고소작업대	상부작업조, 하부작업조, 고소작업대
5인 + 스카이	상부작업조, 하부작업조, 스카이

표 12. 노무자 7인으로 구성된 작업조 분석

작업조	업무	시간(분)			인원수
		최소	최대	평균	
이동	패널 이동	0.4	0.7	0.5	2
상부	패널 인수	1.3	3.3	1.5	2
	패널 고정 및 볼팅	2.4	4.1	3	
하부	패널 인계	1.3	3.3	1.5	2
	사다리 고정	2.7	5.7	3	
코킹	패널 코킹	1.4	2.4	2	1
총 계	노무자 7인				

이러한 작업조의 프로세스를 Cyclone을 통하여 구현한 모델은 다음 그림 9와 같다.

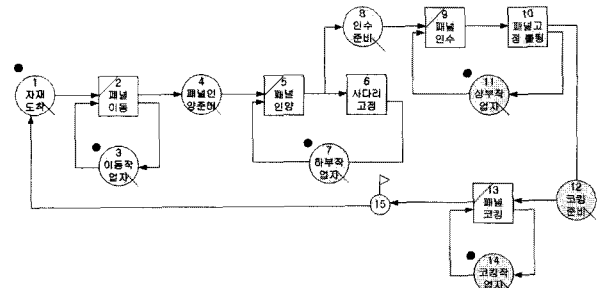


그림 9. 공장가공 7인 작업조 모델링

공장에서 가공하는 작업조의 모델링은 그림 4와 9에서 보는 것과 같이 현장에서 가공하는 작업조의 모델링에서 커팅조만 달라지는 모델링이기 때문에 그림 9를 예로 보여주며 나머지는 생략하기로 한다.

표 13. 노무자5인으로 구성된 작업조 분석

작업조	업무	시간(초)			인원수
		최소	최대	평균	
단순 작업조	패널 이동	0.9	1.4	1.1	2
	패널 고정	1.6	2.4	1.9	
숙련 작업조	패널 고정	1.6	2.4	1.9	2
	패널 볼팅(상부)	0.7	1.1	0.9	
	패널 볼팅(하부)	0.6	1	0.8	
점검 및 코킹 작업조	패널 점검 및 코킹	1.9	2.3	2.1	1
총 계	노무자 5인				

표 13은 공장에서 패널을 가공하는 노무자 5인으로 구성된 작업조의 프로세스이다.

표 14. 노무자 4인으로 구성된 작업조 분석

작업조	업무	시간(초)			인원수
		최소	최대	평균	
단순 작업조	패널 이동	0.7	1.2	0.9	2
	패널 고정	1.8	2.2	2.0	
숙련 작업조	패널 고정	1.8	2.2	2.0	2
	패널 볼팅(상부)	1.0	1.6	1.3	
	패널 볼팅(하부)	0.7	1.1	0.9	
	패널 코킹	0.7	1.2	1	
총 계	노무자 4인				

표 14는 공장에서 패널을 가공하는 노무자 4인으로 구성된 작업조의 프로세스이다.

표 15. 노무자 4인 + 고소작업대로 구성된 작업조 분석

작업조	업무	시간			인원수
		최소	최대	평균	
상부	패널 고정	0.4	0.7	0.5	2
	방향줄 풀기	0.2	0.6	0.3	
	로프풀기	0.3	0.9	0.5	
	패널 볼팅	0.5	0.8	0.6	
	패널 코킹	0.4	0.7	0.6	
하부	패널이동	0.1	0.4	0.2	2
	로프걸기	0.4	0.8	0.5	
	방향줄 걸기	0.2	0.5	0.3	
	패널 지지 및 운전	2.7	4.2	3.3	
고소작업차	자재 인양	0.4	0.5	0.5	2
총 계	노무자 4인 + 장비 2대				

표 15는 공장에서 패널을 가공하는 노무자 4인과 고소작업대 2대로 구성된 작업조의 프로세스이다.

표 16. 노무자 5인 + 스카이로 구성된 작업조 분석

작업조	업무	시간			인원수
		최소	최대	평균	
상부	패널 고정	1.6	2.9	2	2
	방향줄 풀기	0.2	0.5	0.3	
	로프풀기	0.3	1	0.5	
	패널 볼팅	1.6	2.8	2.2	
	패널 코킹	0.7	1.5	1	
하부	로프걸기	0.3	0.6	0.5	2
	방향줄 걸기	0.1	0.2	0.2	
	패널 지지	5.6	7.5	6	
스카이	자재 운반	0.9	1.2	1	1
	작업 준비	0.8	1.5	1	
	스카이 운전				
총 계	노무자 5인+ 장비 1대				

표 16은 공장에서 패널을 가공하는 노무자 5인과 스카이 1대로 구성된 작업조의 프로세스이다.

각 작업조별 생산성 및 장별 설치시간을 살펴보면 표 17과 같다. 노무자 4인 + 고소작업대 2대로 구성된 작업조가 가장 생산성이 높게 나왔고, 노무자 7인으로 구성된 작업조가 생산성이 가장 낮게 분석되었다.

표 17. 공장가공 작업조별 생산성 분석결과

공장가공작업조	7인	5인	4인	4인 + 고소작업대 2대	5인 + 스카이1대
단위 생산성 (장/분)	0.105	0.141	0.194	0.222	0.11
설치 시간 (분/장)	9.524	7.092	5.515	4.505	9.057
설치 장수 (장)	300	300	300	300	300

### 4.3 생산성 분석 결과

샌드위치 패널공사의 작업조 10개에 관하여 생산성을 분석한 결과 다음 표 18에서 보는 것과 같이 공장에서 가공된 작업조 중 노무자 4인과 고소작업대 2대로 구성된 작업조가 분당 설치시간이 4.5분으로 생산성이 가장 높은 것으로 나타났다. 반면 현장 가공 노무자 7인으로 구성된 작업조가 분당 설치시간이 11.7분으로 생산성이 가장 낮은 것으로 분석되었다.

표 18. 작업조별 생산성 분석결과

가공방법	구성	설치 장수 (장)	단위 생산성 (장/분)	설치 시간 (분/장)
공장가공	7인	300	0.105	9.524
	5인	300	0.141	7.092
	4인	300	0.194	5.515
	4인+고소작업대2	300	0.222	4.505
	5인+스카이1	300	0.11	9.057
현장가공	9인	300	0.086	11.628
	7인	300	0.085	11.765
	6인	300	0.138	7.246
	6인+고소작업대2	300	0.16	6.25
	7인+스카이1	300	0.093	10.748

분석결과 공장에서 패널을 가공하여 현장에 반입한 프로세스가 최소 15%에서 최대 39%정도의 생산성 차이가 나타나며 전체적으로 약 27%가량 생산성이 좋은 것으로 분석되었다.

### 4.4 작업조별 공사금액 산정

공사금액은 설치장수와 물가에 따라 변동이 될 수 있기 때문에 다음과 같은 가정을 하도록 한다. 샌드위치패널의 규격은 1000×4000×50로 이루어졌고, 각 작업조별 총 300장의 샌드위치 패널을 설치하는 것으로 가정하여 패널공사의 공사금액을 산정하였다. 공사금액은 또한 하루에 8시간(480분)을 작업 한다는 가정 하에 시뮬레이션을 통해 300장을 설치하는데 걸리는 일수를 산정하여 노임단가를 적용 후 산출하였다.

본 연구에서 각 작업조별 작업일수를 시뮬레이션을 통하여

산정한 후 총 샌드위치 패널 작업장수로 나누어 (인일/장)으로 산출하였다. 그 후 노임단가를 적용하여 노무비를 산정하였다. 다음 표 19는 노무비를 분석한 결과이다. 노무비는 공장가공이 현장가공에 비하여 상대적으로 낮게 산정되는 것을 알 수 있다.

표 19. 작업조별 노무비 분석결과

가공 방법	구성	수량(장)	노무비		차액(천원)
			단가	금액(천원)	
공장가공	7인	300	12,175	3,653	-2,081
	5인	300	6,477	1,943	-2,569
	4인	300	3,765	1,130	-1,253
	4인+고소작업대2	300	3,273	982	-1,070
현장가공	5인+스카이1	300	6,616	1,985	-1,549
	9인	300	19,112	5,734	
	7인	300	15,041	4,512	
	6인	300	7,941	2,382	
	6인+고소작업대2	300	6,838	2,051	
	7인+스카이1	300	11,778	3,533	

이는 패널 가공 노무자가 제외되기 때문에 나타난 차이로 볼 수 있다.

다음 표 20은 공장가공의 재료비와 현장가공의 재료비를 비교분석한 것이다. 샌드위치 패널공사 재료비의 차이는 가공비가 더 들어가기 때문에 차액이 나타나게 되었다.

표 20. 가공장소에 따른 재료비 분석결과

가공방법	수량(장)	재료비		차액(천원)
		단가	금액(천원)	
공장가공	300	80,000	24,000	6,000
현장가공	300	60,000	18,000	

다음 표 21은 고소작업대와 스카이의 경비를 비교한 것이다.

표 21. 장비포함 작업조별 경비 분석결과

가공방법	수량(장)	재료비		차액(천원)
		단가	금액(천원)	
고소작업대	공장가공	300	1,493	448
	현장가공	300	2,080	624
스카이	공장가공	300	6,603	1,981
	현장가공	300	7,837	2,351

샌드위치 패널공사 경비의 장비 단가가 스카이가 더 높기 때문에 다음과 같은 차액이 나타나게 되었다.

노무비, 재료비, 경비를 분석한 결과 표 22에서 보는 것과 같이 공장가공의 공사비가 최소 약 13%정도에서 최대 18%정도의 차이가 나타나고 평균적으로 약 16%정도 더 많은 비용을 필요로 하는 것으로 분석되었다. 현장가공작업조의 공사비용 분석결과 6인작업조가 2,038만원으로 가장 저렴하게 나타났고, 7인+스카이로 구성된 작업조가 2,388만원으로 가장 높은 금액으로 산

정됨을 알 수 있다. 공장가공 작업조의 공사비용 분석결과 4인 작업조가 2,513만원으로 가장 저렴하게 나타났고, 5인+스카이로 구성된 작업조가 2,787만원으로 가장 높은 금액으로 산정됨을 알 수 있다.

표 22. 작업조별 공사금액 분석 결과

가공방법	구성	재료비+노무비+경비		차액	
		단가	금액(천원)	금액(천원)	백분율(%)
공장가공	7인	92,175	27,653	3,919	14.2
	5인	86,477	25,943	3,431	13.2
	4인	83,765	25,130	4,747	18.9
	4인+고소작업대2	84,766	25,430	4,755	18.7
	5인+스카이1대	93,219	27,966	4,081	14.6
현장가공	9인	79,112	23,734		
	7인	75,041	22,512		
	6인	67,941	20,382		
	6인+고소작업대2	68,918	20,676		
	7인+스카이1대	79,615	23,885		

공사비용 분석 결과 공장가공 작업조가 현장가공 작업조에 비하여 약 16% 정도의 공사비용이 증가됨으로 조사되었다.

작업조별 생산성 및 공사금액 분석을 통하여 공사관계자가 각기 다른 자신들의 현장의 상황에 적합한 샌드위치패널공사의 작업조 선택과 해당 작업조의 생산성 및 공사금액을 예측 및 활용에 도움이 될 것이다.

### 4.5 공장가공 요율에 따른 민감도 분석

앞 절에서 산정한 재료비의 경우는 모든 패널이 공장에서 가공된 후 현장에 반입한 경우이다. 하지만 건물의 개구부요율에 따라 공장 가공패널의 장수가 변화하기 때문에 개구부 요율에 따른 민감도 분석을 실시하였다.

표 23. 개구부 요율에 따른 민감도 분석

패널공사 개구부 요율에 따른 민감도 분석결과(천원)				
작업조	요율(%)	원금액	적용금액	차액
현장 9인 : 공장 7인	16	23,733	23,813	-80
	17	23,733	23,573	160
현장 7인 : 공장 5인	16	22,512	22,583	-71
	17	22,512	22,343	169
현장 6인 : 공장 4인	19	20,382	20,570	-188
	20	20,382	20,330	52
현장 6인 + 고소작업대2 : 공장 4인 + 고소작업대2	19	20,675	20,870	-195
	20	20,675	20,630	45
현장 7인 + 스카이1대 : 공장 5인 + 스카이1대	17	24,473	24,622	-149
	18	24,473	24,382	91

표 23은 개구부 요율에 따른 민감도 분석을 나타낸 값들이다. 전체적으로 공장에서 16 ~ 20%정도 개구부를 공장에서 가공을



하였을 경우 재료비의 상승으로 인하여 발생한 적자비용을 개구부 요율에 따른 노무비와 경비가 적어짐에 따라 상쇄함을 알 수 있다. 원금액은 개구부 요율을 적용하지 않은 상태에서 공사금액을 나타낸 것이고 적용금액은 요율을 적용한 금액이다.

작업조별 비교중 생산성 및 공사금액이 가장 좋게 나타난

Case 1 : 현장 6인과 공장 4인 작업조

Case 2 : 현장 6인 + 고소작업차 2대와 공장 4인 + 고소작업차 2대에 관하여 그래프로 나타내면 다음 그림 10, 11과 같다. 민감도 분석을 한 결과 약 19%에서 20%정도의 개구부를 공장에서 가공을 하여 현장에 적용하였을 경우 생산성 및 공사금액의 최적화가 이루어짐을 알 수 있다.

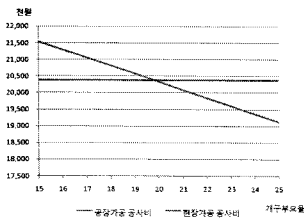


그림 10. Case1의 민감도 분석

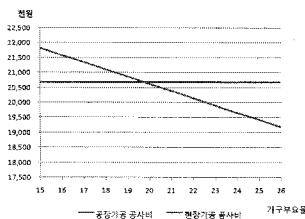


그림 11. Case2의 민감도 분석

## 5. 결론

과거에 샌드위치 패널공사에 관한 연구들은 공정에 관한 연구가 아닌 재료의 특성에 관한 연구들이 이루어졌다. 따라서 본 연구에서는 샌드위치 패널공사의 연구분야중 공법에 관한 연구가 매우 미흡한 상황이기에 작업조별 생산성 분석 및 공사금액을 산정에 관한 연구를 하였다. 생산성 분석 도구로써 Webcyclone을 활용하여 작업조의 변화에 따른 생산성을 분석하였고, 물가 정보, 장비업체 문의를 통하여 공사금액을 산정하였다. 또한 샌드위치패널공사의 생산성에 영향을 미치는 요인 중 패널의 가공이 현장과 공장에서 각각 이루어졌을 경우 생산성 및 공사금액에 어느 정도 영향을 미치는가에 관한 분석을 하였다. 분석결과 생산성은 공장가공 4인 + 고소작업대로 구성된 작업조, 공사비용은 현장가공 6인작업조가 가장 낮게 나타났다.

공장가공 작업조가 현장가공 작업조에 비하여 약 27% 정도의 생산성이 향상됨으로 조사되었고, 공사비용은 현장가공 작업조가 공장가공 작업조에 비하여 약 16% 정도의 공사비용이 증가됨으로 조사되었다. 이에 개구부 요율에 따른 민감도 분석을 한 결과 약 20% 정도의 개구부를 공장에서 가공을 하였을 때 공사금액 최적화가 이루어짐을 알 수 있다.

본 연구는 샌드위치 패널공사의 작업인원과 패널의 가공장소

에 따른 생산성분석, 공사금액 분석을 통하여 공사관계자가 각기 다른 자신들의 현장의 상황에 적합한 샌드위치패널공사의 작업조 선택과 해당 작업조의 생산성 및 공사금액을 예측 및 활용 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 샌드위치패널공사의 다양한 생산성 영향요인들 중 패널공사의 가공 장소가 생산성 및 경제성에 미치는 영향에 관하여 연구를 주로 하였고, 향후 보다 다양한 요인들에 관한 생산성 관련 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 2008학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음

## 참고문헌

- 강내민, “샌드위치 패널심재로 활용한 St/BA 개발 다공성 경량 콘크리트의 특성”, 한국건축시공학회 학술.기술논문발표회 논문집, 제3권 제1호, 2003, pp.31~34
- 김선우의 2인, “경량벽체의 차음특성에 관한 실험적 연구”, 제 14권 제 12호, 1998, pp.259~268
- 김영찬의 2인, “거푸집용 Sandwich패널의 개발에 관한 기초 연구”, 대한건축학회논문집, 제12권 제12호, 1996, pp.243~249
- 김운재의 2인, “경량간막이 벽체의 구성재료 및 시공방법에 따른 차음성능 향상에 관한 연구”, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 2003, pp.925~928
- 손정욱의 2인, “건설공사 생산성 측정방법에 관한 연구 ; 작업수행방법 개선사례를 중심으로”, 대한건설학회논문집 제19권 제10호, 2003, pp.101~108
- 손철수, “여름철 엠보싱 샌드위치 패널의 열적 성능에 관한 연구 : 평판 샌드위치 패널과 비교를 중심으로”, 설비공학회논문집, 제12권 제10호, 2000, pp.917~924
- 석현수, “철골 및 PC구조의 생산성 및 경제성 분석에 관한 연구”, 홍익대학교 석사학위논문, 2008
- 이병권, “차음성능이 향상된 경량벽체 개발 및 성능평가 연구”, 한국소음진동학회 춘계학술대회 논문집, 2004, pp.699~704
- 이시욱, “카리프트의 성능 변화에 따른 터널공사 버력처리 공정 생산성 분석 연구”, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2006, PP.593~596

- 이소미, “샌드위치패널을 이용한 지붕일체형 태양전지 모듈의 개발”, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, 2006, pp.69~74
- 임홍순, “샌드위치패널 화재시험방법의 국제적 동향”, 방재기술 제 33호, 2002
- 이세현외 3인, 건축물 내화설계기술개발(Ⅱ)-샌드위치패널 등 복합자재의 공장건축물 내부마감재료 기준에 관한 연구보고서, 한국건설기술연구원, 2003, 2
- 장완복 외1, “작업 사이클 분석을 통한 오피스 건축공사 생산성 분석 방법론에 관한 연구”, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), 제23권 제2호, 2003
- 정정호, “무기질 단열재를 사용한 샌드위치패널의 단열 및 차음 성능”, 한국생활환경학회지, 제13권 제4호, 2006, pp.320~326
- 정희경외 2인, “작업측정기법을 이용한 거푸집 공사의 생산성에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집, 제5권 제4호, 2005, pp.131~137
- Halpin, D.W., “Construction project simulation using CYCLONE”, Canadian journal of civil engineering, 1998
- Seung-Woo Han 외 3인, “Simulation analysis of productivity variation by global positioning system(GPS) implementation in earthmoving operation”, Canadian journal of civil engineering, 2006
- Sangyoub Lee외 2인, “Quantified implementing enterprise resource planning though process simulation”, Canadian journal of civil engineering, 2004
- <http://cyclone.ecn.purdue.edu:8080/WebCYCLONE/Cyclone.jsp>

논문제출일: 2009.04.06  
논문심사일: 2009.04.08  
심사완료일: 2009.06.10

---

## Abstract

The domestic construction market started to expand steadily since 1970s. The building market which utilizes a sandwich panel with advantages of economical construction expenses and convenient construction has grown rapidly in recent years. However, the companies which specialize in constructing sandwich panels are relatively small or medium size, compared with other construction companies. As a result, studies on the improvement of productivity have not been conducted sufficiently. In this study, the construction sites of sandwich panel are investigated, and the work processes by each team are analyzed. Additionally, the productivity and the construction cost of each work group are analyzed by constructing a model using the Web-Cyclone. It analyzed sensitivities about change of productivity and work costs following in processing place of the panel which is one of the productivity effect factors, so it assayed the optimized productivity by each work group and work costs. Analysis showed that 30% of productivity has improved compared with the factory processing work group, and analysis of work costs showed that about 15% of work costs was increased. Also sensitivity analysis of opening ratio showed that the work costs optimization will be accomplished when about 20% of opening was processed from the factory.

**Keywords :** *Sandwich panel construction, Web-Cyclone, crew productivity, sandwich panel Shop fabrication*

---