



제8회 한국 대학생 SCM 경진대회

2017.06.02

지퍼백 생산공장의 납기지연 최소화를 위한 데이터 기반 생산 우선순위 결정 및 생산량 예측 기법 연구

이선화, 김시연, 신재용, 이승규

지도교수님: 최예림

경기대학교 산업경영공학과

연구요약 및 키워드



기업 조사

✓ 기업 조사

- 비닐 제조업체(Y기업)
- 기업의 Supply chain
- MTO(Make to Order) 생산방식 및 거래처 현황분석

✓ 문제점

- 월말의 주문 물림 현상
→ 납기지연 발생
- 만성적 지연 발생
→ Lead time 변동 발생



연구

✓ 납기지연 해결방안 도출

- 기존의 전면MTO(Make to Order)에서 일부 거래처들을 MTS(Make to Stock)으로 변화

✓ PMSO(Partial MTS for selected orders)

- 다양한 측면에서 거래처별로 비교한 후 우선순위 도출
- 우선 순위를 도출하여 MTO 생산량의 일부를 MTS로 전환



실험

✓ 실제 데이터를 이용한 방법론 평가

- 거래처에 대한 위험과 개선하여 취할 수 있는 **잠재적 이익을 명확히 파악 및 구성**
- 위험 및 손해비용 기준에 따른 알고리즘 평가

✓ AWT를 통한 User interface 개발

- 거래처별 예측 주문량에 따라 자동으로 MTS 생산량, 거래처 도출



CONTENTS

1. 기업소개

기업정보
지퍼백 생산과정 및 Supply chain
기업의 문제점
MTS 도입 시 문제점

2. 기존연구

3. 해결방안

제안방법론
한정된 능력 계산
주문량 예측
우선순위 결정
거래처 선정

4. User interface

전체 Process
전면 MTO 생산
PMSO 생산 Process
PMSO 결과

5. 결론

월별 PMSO 결과
기대효과



지퍼백 생산업체 Y기업

설립 날짜: 1993년 10월 11일

업태: 제조업

평균 거래처 수: 100곳 이상

하루 최대 생산량: 32만장

지퍼백 단가: 15원

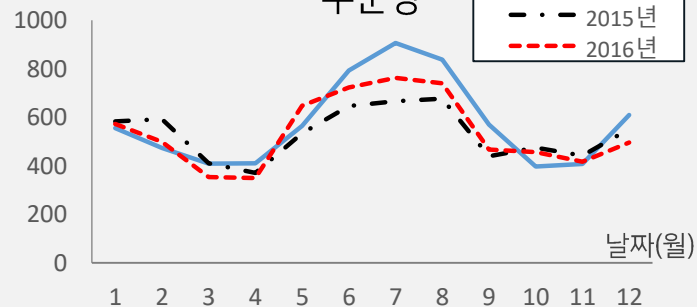
월 매출: 평균 8,100만원

인쇄 지퍼백



- 최소 2만장 이상 주문가능
- 보유재고: 없음
- 거래처 특성별 패턴이 존재함
- 매출 점유율: 약 65%

주문량(만장)



무지 지퍼백



- 주문량의 큰 변동폭이 없이 일정함
- 월 평균 주문량: 약 188만장
- 매출 점유율: 약 35%
- 보유 재고: 약 943만장을 유지함

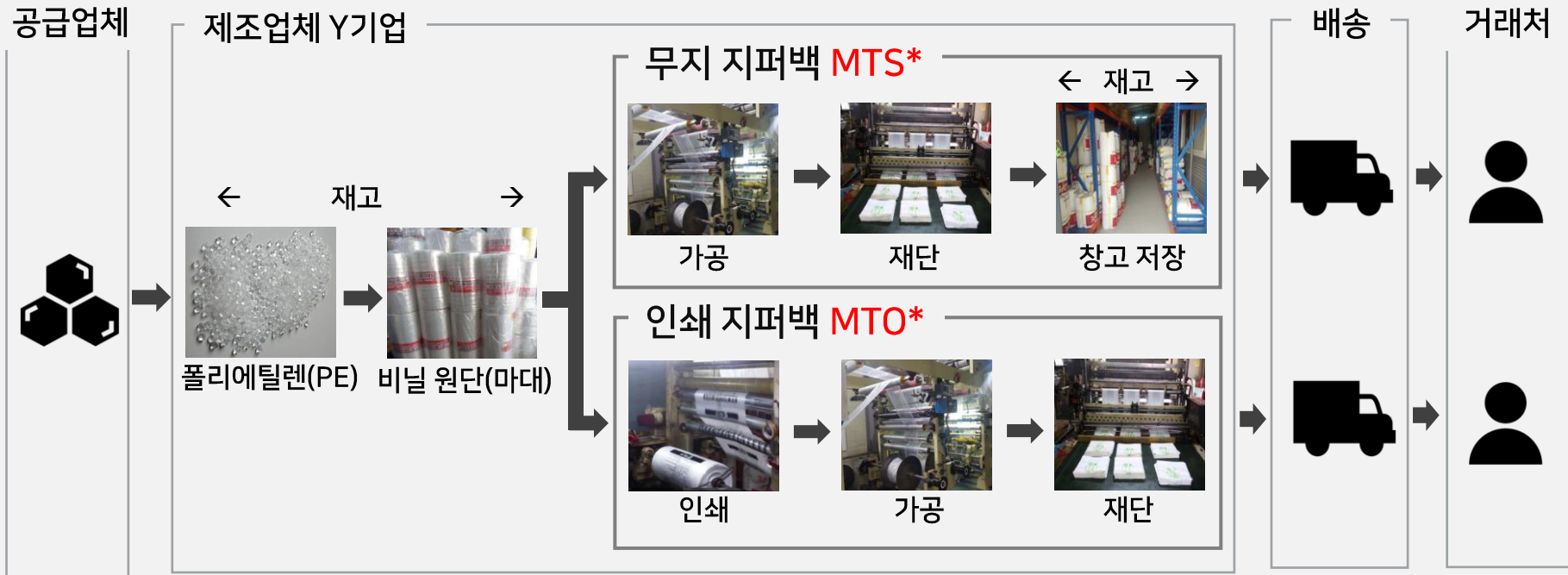
주
생
산
품



지퍼백 생산과정 및 Supply chain

Y 기업의 주 생산품인 인쇄 지퍼백의 경우 MTO 방식으로 생산하고 무지 지퍼백의 경우 MTS 방식으로 생산함

Y기업의 지퍼백 생산과정 및 Supply Chain



- 폴리에틸렌(PE)는 석유제품이기에 유가에 영향을 많이 받아 저렴할 때 공급업체로부터 대량으로 구입
- 무지 지퍼백은 MTS 방식으로 생산하고 인쇄 지퍼백은 MTO 방식으로 생산하며
인쇄 지퍼백의 경우 1회 주문 시 2만장 이상만 주문가능

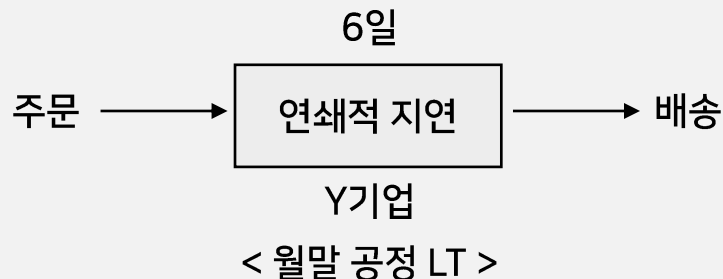
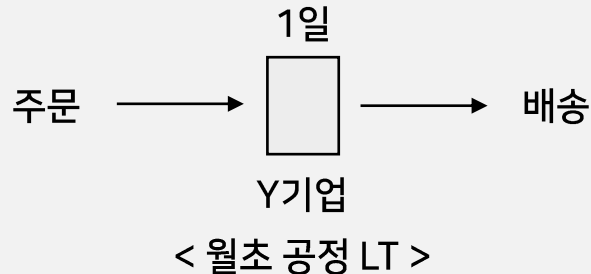


월말 주문량 몰림 현상으로 인해 납기지연과 공정 Lead time 변동성 문제가 발생함

Y기업의 현황

- **인쇄 지퍼백**의 경우 월말 주문량이 월초 주문량에 비해 약 3배 발생
- 따라서 공장 생산능력 부족 현상
- **주문의 90%이상 연쇄적 납기지연**이 발생함

공정 소요 시간



고객(거래처) 측면

- **납기지연**으로 원하는 납기일까지 상품공급이 되지 않음
- 만성적(연쇄적)지연으로 인해 Y기업에 대한 신뢰도 감소
- 지속적인 거래 확률이 낮아짐

기업 측면

- 월초와 월말의 주문량 차이로 **Lead time 변동성 발생**
- 불확실한 Lead time으로 인한 전략적 생산계획이 힘들
- 긴 Lead time으로 인해 기업간 경쟁력 밀려 잠재고객의 손실



재고보유 시 주문이 취소된 경우나 제품의 변질이 발생한 경우의 제조비용을 공급자가 부담하는 위험이 발생함

거래처 파산에 의한 손실

- 과거사례를 통해 문제점 도출

꾸준히 주문하던 거래처 주문량의 일부를 미리 생산함
하지만 거래도중에 거래처가 파산하는 문제가 발생함

거래예정이었던 거래처가 파산함에 따라
거래처가 주문했던 양은 그대로 손해로 전락함

결국 Y기업은 매출손해액 **3,000만원** 발생

→ Y기업의 월 평균 매출액: 약 8,100만원
월 평균 매출액의 37%에 해당하는 손해



이후, 인쇄 지퍼백 MTS 전면 폐지

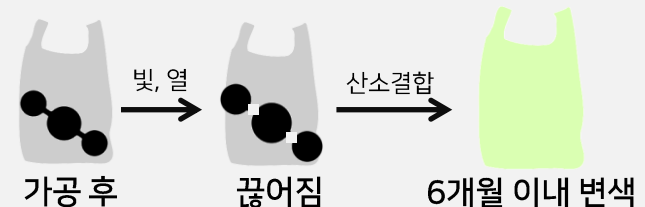
위험비용을 **최소화** 시키는 해결방법 결정

제품 변색에 의한 손실

PE 자체 변색되지 않으나

상품을 생산하여 보관할 경우 변색발생

가공(분자결합) 후 지속적인 빛, 열(형광등)로 인해
공유결합 된 분자가 끊어져 라디칼 형성 그 후 산소와
결합하여 산화됨



오랜 시간 재고를 가지고 있을 경우 변색이 되어 제품의
상품가치의 저하로 인해 판매가 불가능한 문제가
발생함

재고의 변색으로 오랜 기간 보관할 수 없음



납기지연과 Lead time 변동을 해결을 위한 기존연구를 탐구함



Y기업과 거래하는 거래처들의 만성적(연쇄적)지연과 거래처들의 가변적인 주문특성을 해결하기 위해 수요예측 관련논문과 Hybrid 방식의 혼합 생산 환경 관련논문을 탐색

해결방안	논문	주요 문제	분석 방법	연구 방법론
수요예측	서영복 외, 2013	발주리드타임 단축요인과 유연성, 공급사슬 관리의 핵심요인 탐구	표본분석	수요예측을 통해 MTO 변동성 최소화 (생산 안정성 제고)
혼합 생산 환경 내 Algorithm 및 *Hybrid MTS	이익선 외, 2008	단계적 납기지연 해결	분지한계법을 고려한 Case data 분석	총 가중납기지연시간 최소화를 위한 Heuristic Algorithm
	박상연 외, 2005	생산환경 변화에 따른 혼합 생산환경에 대한 적합성	알고리즘을 통한 주문량 비교	MTO-MTS 혼합 생산환경을 고려하여 생산 가능성을 반영한 Algorithm 구축
	노권학 외, 2011	SCM 관리의 중요성이 극대화 됨에 따라 수요예측과 생산방식 변화	시뮬레이션	MTO와 MTS 생산방식 결과를 비용적, 시간적 측면으로 비교
	George Zhang et al, 2013	MTO과 MTS 생산설비를 모두 이용한 주문지연 최소화	안전재고량과 MTS Cost 비교 및 검증	동적인 MTS를 통한 우수한 고객서비스 및 낮은 재고 수준의 잠재력 제공

변화하는 제품 구성에 적합한 Hybrid MTS

+

제품 생산 시 보상비용과 위험비용과 같은 비용

=

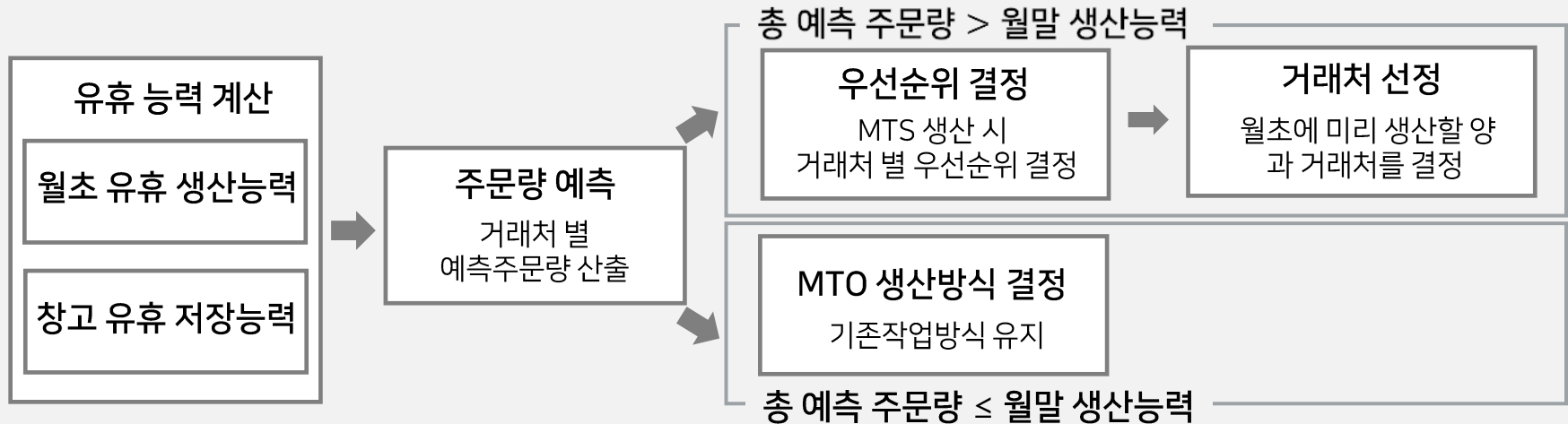
기존 MTO 생산의 일부 거래처를 비용적 측면으로 선택하여 MTS 생산



우선순위를 통해 기존 MTO 생산의 일부 거래처를 MTS 생산 함

PMSO 란? Partial MTS for selected orders

월말에 발생하는 부족량을 월초 유휴 생산능력에 생산하기 위해 거래처별로 주문량을 예측하고 결정 기준에 따라 우선순위를 산정한 후 **월초 유휴 생산능력에 생산할 최적의 양과, 거래처를 선정**



월초 유휴 생산능력

3년 평균 월초에 발생하는 생산 여유능력 측정
월초에 미리 생산할 월말 부족량을 제한

창고 유휴 저장능력

기존재고의 불 필요재고를 줄이고 남는 보관 여유능력 파악
보관 여유 능력으로 재고 보관이 가능한지 파악 후 제한

주문량 예측

최근 3년 주문량을 이용해 ARIMA 분석
거래처별 미래 주문량을 예측

우선순위 결정

여러 결정기준(비용비교, 장기계약, 주식 상승세)을 통해 결정
거래처별 생산 우선순위를 파악

거래처 선정

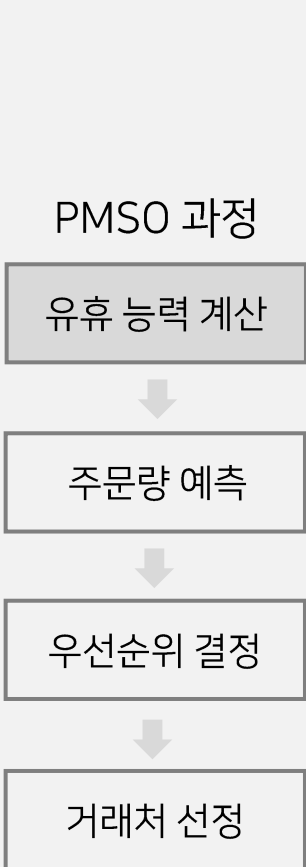
거래처의 예측 주문량을 누적
비용적 측면에서 손해가 발생하지 않는 지점도출
MTS 생산량에 포함되는 거래처를 결정

MTO 생산방식 결정

예측된 총 주문량이 월말 생산능력보다 적을 경우 기존방식 유지



월초 생산가능 양과 창고 저장가능 양을 계산함



월초 유휴 생산능력

3년치 데이터를 통해 월초 유휴 생산능력 도출

최대 유휴량 : 약 405만장 (17년 4월)

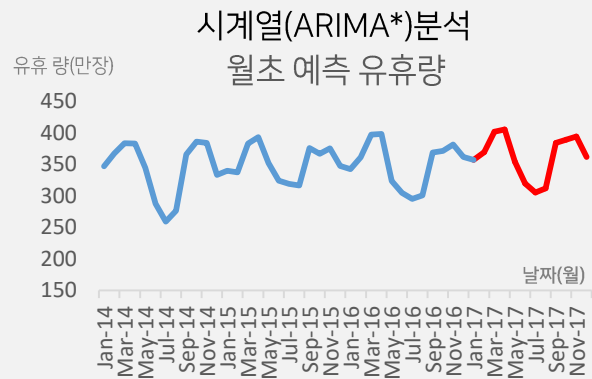
최소 유휴량 : 약 305만장 (17년 6월)

평균 유휴량 : 약 352만장

∴ 월초에 추가적인 비용 없이

최대 405만장에서

최소 305만장 까지 생산가능



창고 유휴 저장능력

현재 무지 지퍼백(MTS 생산)의 재고를 과도하게 많이 보유하고 있음
따라서, 안전재고량, 평균수요를 계산하여 불 필요한 재고를 제거하고 인쇄 지퍼백
재고를 위한 창고능력을 확보함

$$OS = r \times AVG + z \times STD \times \sqrt{r + L}$$

(박세훈 외, 2011)

OS: 최적 보유재고

AVG: 평균 월수요 (1,885,800 장)

STD: 수요 표준편차 (153,975 장)

L: 보충 리드타임 (0.2381 개월)

z: 안전계수 (3.08)

r: 주문기간 (1개월)

평균수요($r \times AVG$) : 188만장

안전재고($z \times STD \times \sqrt{r + L}$) : 52만장

OS(평균수요+안전재고) = 240만장

현 보유재고(무지 지퍼백) : 943만장

Storage capacity

(Y기업의 실제 현 보유재고 - OS)

= 703만장

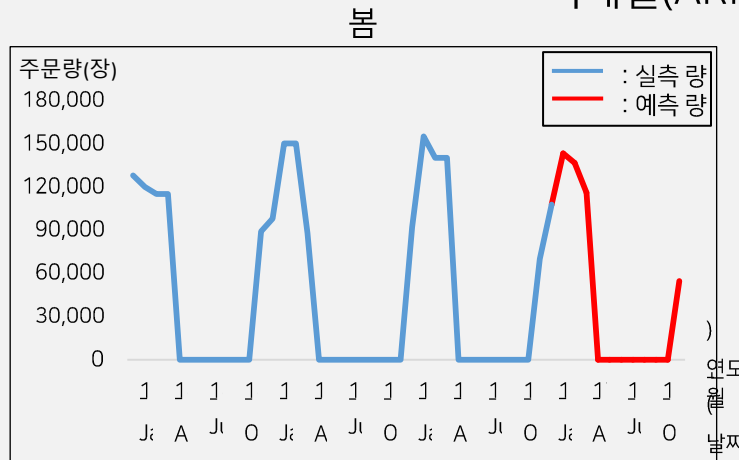


주문량 예측

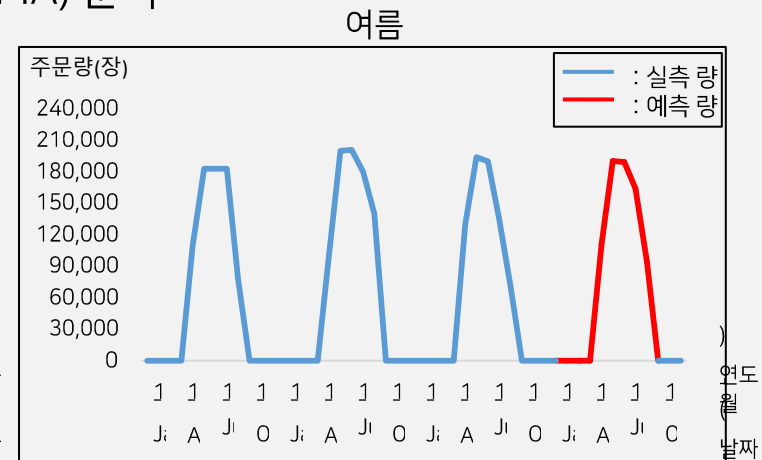
해결방안

3년간 월별 주문량 패턴분석을 통해 미래 주문량을 예측함

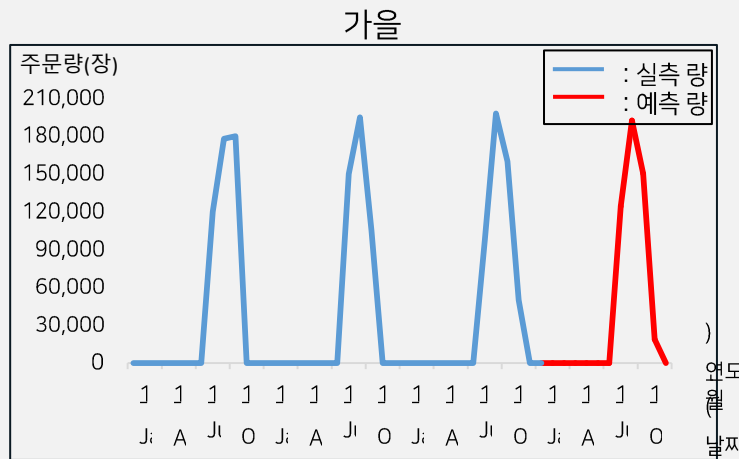
시계열(ARIMA) 분석



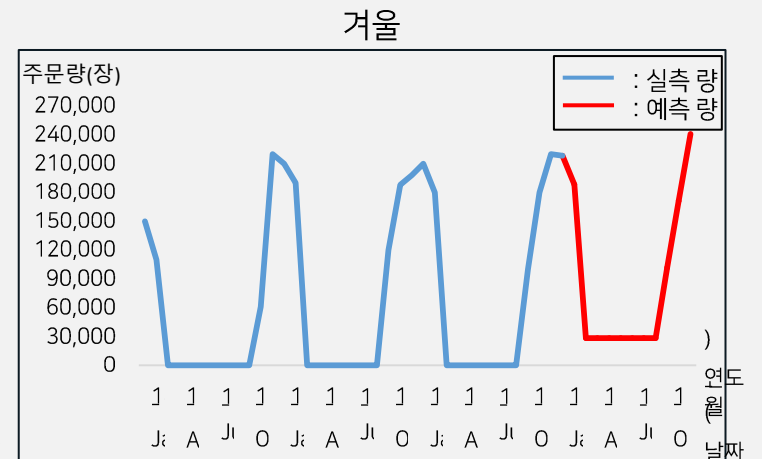
$R^2=0.837$



$R^2=0.745$



$R^2=0.799$



$R^2=0.822$

모두 양호한 적합도(R^2)가 나오므로 예측된 주문량이 연도별로 유사한 패턴으로 발생함

PMSO 과정

유휴 능력 계산

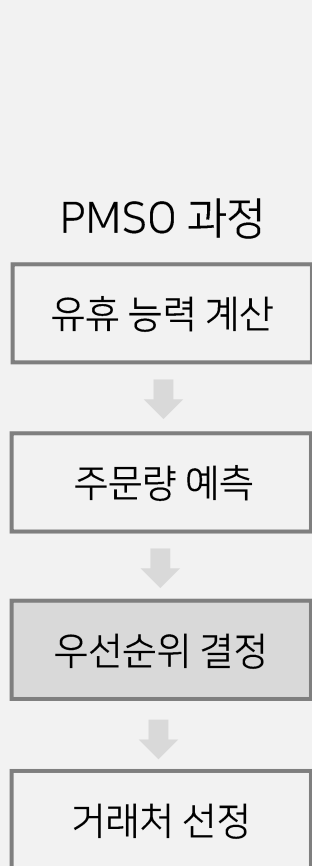
주문량 예측

우선순위 결정

거래처 선정



다양한 기준을 통해 도출된 값을 이용해 거래처들을 순서대로 나열



- 목적: MTS 생산 시 위험을 최소화 시키기 위함
- 내용: 결정기준에 따라 거래처별 우선순위를 파악함

결정기준 1



비용을 고려한 거래처별 우선순위 결정

- 선정 기준: 거래처별 예측 주문량을 통해 계산된 잠재적 이익이 높은 순서
- 선정 도구: 잠재적 이익 계산을 위한 프로그램

결정기준 2



꾸준한 거래를 해온 거래처별 우선순위 결정

- 선정 기준: 과거 데이터를 기반으로 거래의 빈도가 꾸준한 순서
- 선정 도구: 거래 중단 확률 계산을 위한 과거 데이터를 대입한 프로그램

결정기준 3



유망한 거래처별 우선순위 결정

- 선정 기준: 주식 상승세 및 거래처의 성장가능성과 미래 생존수준이 높은 순서
- 선정 도구: 크롤링을 통한 추세분석 값을 대입한 프로그램



MTS를 적용할 생산량을 결정한 후 그에 맞는 거래처를 선정함

- 목적: MTS 생산할 거래처를 선별함
- 내용: 예측된 주문량을 우선순위 순으로 누적인 값을 대입해 잠재적 이익이 음수가 되는 지점까지의 거래처들을 MTS 생산함

PMSO 과정

유허 능력 계산



주문량 예측



우선순위 결정



거래처 선정

선정 방법

목표: MTS로 월초에 미리 생산할 양을 정한 후 잠재적 이익(비용)을 고려해서 어떤 거래처를 생산할지 결정함

잠재적 이익 = 손해비용 - 위험비용

• 손해비용 = 납기지연 시 거래처에 지불하는 보상비용과 다음달 생산에 영향을 미쳐 발생하는 다음달 손해액

$$(0.1 \times 20 \times n) \times (1.5 \div 1000) \times t + 5mt$$

• 위험비용 = 재고생산 후 거래처가 주문을 중단했을 시 공급자가 부담해야 할 비용

$$\prod(Q, n) = -nW + \left(\frac{b(r + \beta)}{b - a} - c \right) (1 - p)Q - \frac{r + \beta}{2(b - a)} \left(\frac{(1 - p)p}{n} + (1 - p)^2 \right) Q^2 - \frac{ra^2 + \beta b^2}{2(b - a)}$$

김정연 외 1명(2013)

예시:) 8월

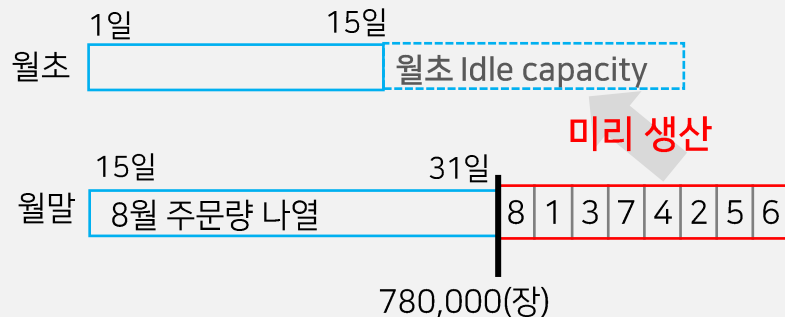
8월 거래처별 우선순위

	주문량(장)	우선순위
거래처1	40,000	7
거래처2	125,000	3
거래처3	57,000	6
거래처4	117,000	4
거래처5	144,000	2
거래처6	155,000	1
거래처7	110,000	5
거래처8	32,000	8
.		
.		
.		

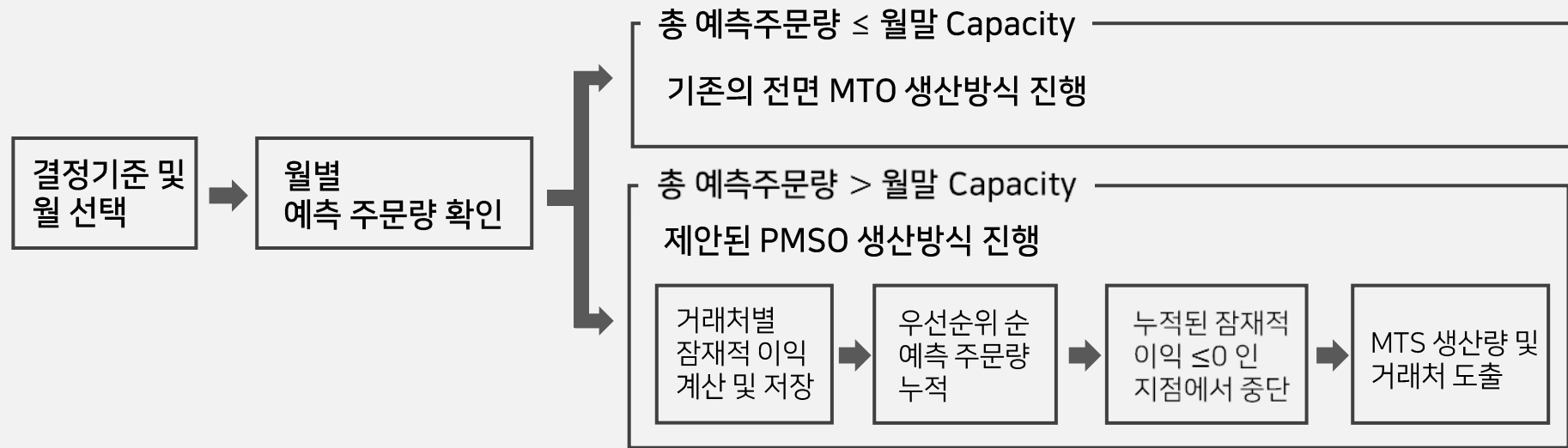
거래처별 우선순위대로 나열 (거래처6,5,2,4,7,3,1,8...)

잠재적 이익 = 0인 부분의 누적 주문량이 780,000장일 때 MTS 생산량 = 780,000장 (780,000장 이상은 잠재적 이익 ≤ 0)

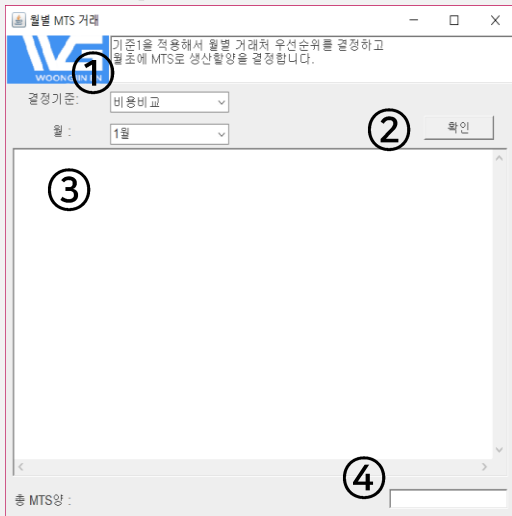
월초에 위 거래처들의 주문량을 순서대로 미리 생산함 (MTS 생산)



월별 MTS 생산량과 거래처를 도출하기 위해 User가 사용하는 Interface process



초기 미창



- ① 결정기준 및 월 선택: 우선순위 결정기준과 MTS 생산을 확인하고 싶은 월을 선택함
- ② 확인Button 클릭:
 1. 선택된 월에 대해 저장되어 있는 거래처별 **예측 주문량을 불러옴**
 2. **총 예측 주문량이 월말 Capacity를 초과하는지 확인**
 - 총 예측 주문량 ≤ 월말 Capacity
기존의 전면 MTO 생산방식 진행
 - 총 예측 주문량 > 월말 Capacity
 1. 거래처별 예측 주문량에 대한 잠재적 이익 계산 및 **내림차순 저장**
 2. 우선순위 순대로 거래처와 예측 주문량을 불러옴
 3. 예측주문량을 누적하며 잠재적 이익을 계산함
 4. **누적된 잠재적 이익 ≤ 0** 인 지점에서 중단
- ③ MTS 생산을 해야 하는 거래처와 거래처별 우선순위 및 예측 주문량을 도출함
- ④ MTS 생산을 해야 하는 총 주문량을 도출함



전면 MTO 생산

총 예측 주문량이 월말 Capacity를 초과하지 않을 경우 기존의 생산방식(전면MTO)을 진행함

월말 Capacity로 모든 주문량 생산 가능할 경우

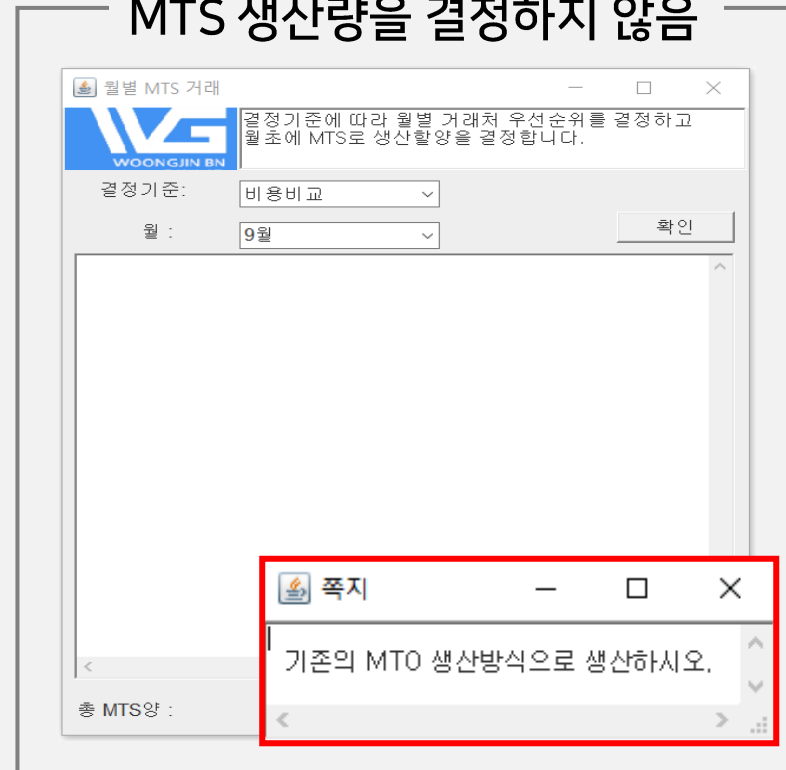
9월 예측 주문량

날짜	거래처	예측주문량
9월	24	93000
9월	36	84000
9월	25	75000
9월	34	52500
9월	33	38250

외 46개

총 예측 주문량: 3,544,500장
총 예측 주문량 < 월말 Capacity(4,860,000장)
∴ 월말 생산능력으로 모든 주문량 생산 가능
→ 전면 MTO 생산

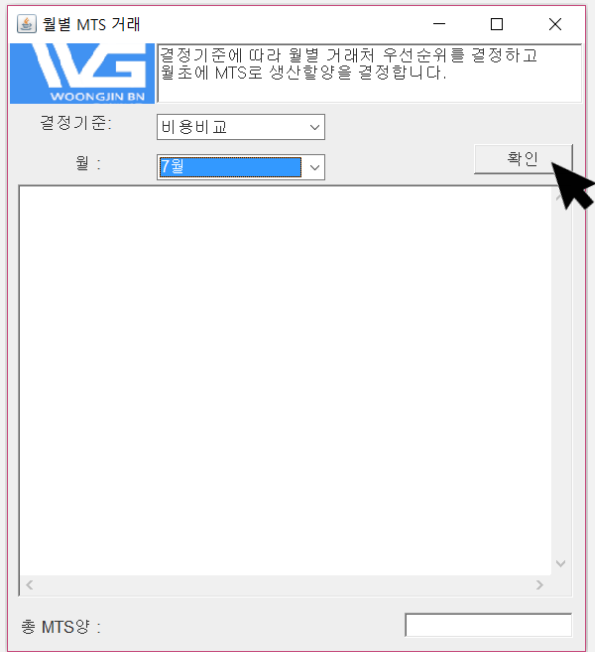
MTS 생산량을 결정하지 않음



*User interface란 일반 사용자들이 컴퓨터 시스템 또는 프로그램에서데이터 입력이나 동작을 제어하기 위해 사용하는 명령어 또는 기법이다.

총 예측 주문량이 월말 Capacity를 초과할 경우 PMSO를 진행함

월말 Capacity로 모든 주문량 생산이 불가능할 경우



7월 선택 후 확인 Button 클릭 시

1. 7월의 예측 주문량을 불러옴

날짜	거래처	예측주문량
7월	29	200000
7월	41	166000
7월	40	190000
7월	39	198000
7월	38	194000

외 59개

총 예측 주문량: 9,068,000

총 예측 주문량 > 월말 Capacity(4,860,000장)이므로 **PMSO 진행**

2. 7월 거래처별 잠재적 이익 계산 및 저장

날짜	잠재적이익	거래처	예측주문량
7월	4222776	27	200000
7월	4222606	59	21000
7월	4222606	35	190000
7월	4222606	50	245000
7월	4221510	56	220000

외 59개

우선순위

거래처27 → 거래처59 → 거래처35 → 거래처50 → 거래처56 → . . .

3. 우선순위 순으로 누적하며 잠재적 이익 ≤ 0인 지점 도출

최적 지점(잠재적 이익 ≤ 0): 1,557,000장



총 예측 주문량이 월말 Capacity를 초과할 경우 PMSO를 통한 결과도출

월별 MTS 거래

WOONGJIN BN

검정기준에 따라 월별 거래처 우선순위를 결정하고 월초에 MTS로 생산할 양을 결정합니다.

결정기준: 비용비교

월: 7월

확인

거래처	우선 순위	예측주문량
거래처 27	1	200000.0장
거래처 59	2	21000.0장
거래처 50	3	245000.0장
거래처 35	4	190000.0장
거래처 56	5	220000.0장
거래처 26	6	174000.0장
거래처 42	7	187000.0장
거래처 46	8	20000.0장
거래처 18	9	150000.0장
거래처 20	10	150000.0장

총 MTS양 : 1557000.0

결과: 거래처27부터 거래처20까지 10개의 거래처를 MTS 생산
총 MTS 생산량: 1,557,000장

계산된 한정능력과의 비교

한정된 능력: · 7월 월초 Idle capacity: 3,499,800장
· Storage capacity: 7,030,000장

미리 생산할 양(1,557,000장) < 월초 Idle capacity(3,499,800장)
창고에 저장할 양(1,557,000장) < Storage capacity(7,030,000장)

월초에 10개의 거래처들을 미리 생산할 수 있음

기존의 전면 MTO 생산 시

7월 월말 Insufficient capacity
= 1,941,000장

지체일 수: 약6일

월말 Insufficient capacity/하루 최대 생산능력

PMSO 생산 도입 시

PMSO 후 Insufficient capacity
= 384,000장

지체일 수: 약1일

월말 Insufficient capacity/하루 최대 생산능력



월별 PMSO 결과

결론

PMSO를 통한 월별 납기 지체일 수 감소 효과

2017년도 예측 결과

		6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
PMSO 생산 유무		0	0	0	X	X	0	0
MTS 생산량(장)		1,578,000	1,557,000	1,587,000	-	-	1,553,250	1,524,750
Insufficient capacity(장)	기존	1,089,000	1,941,000	1,422,000	-	-	1,324,500	1,734,750
	PMSO	0	384,000	0	-	-	0	210,000
지체일 수	기존	3일	6일	4일	-	-	4일	5일
	PMSO	0일	1일	0일	-	-	0일	1일
손해비용(원)	기존	4,869,801	9,754,938	6,495,894			6,500,817	8,126,021
	PMSO		1,621,152					1,620,630

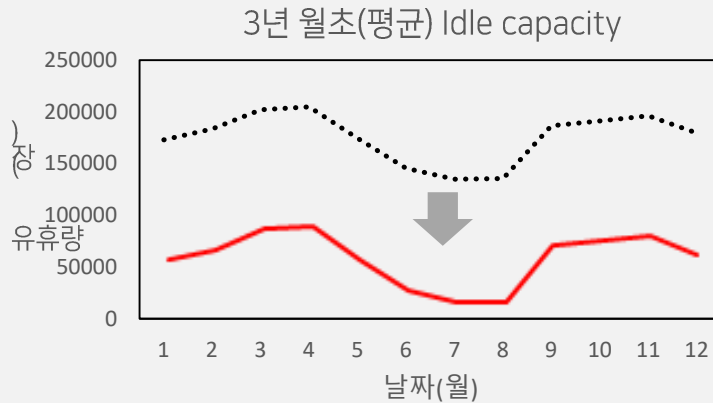
PMSO를 통한 납기 지체일 수 및 손해비용 감소



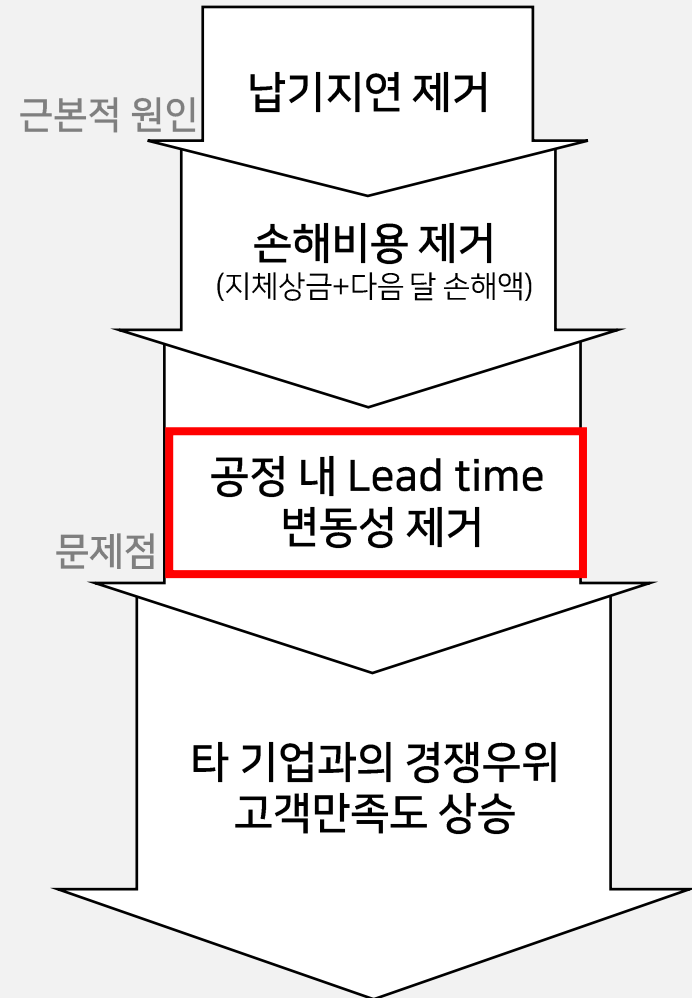
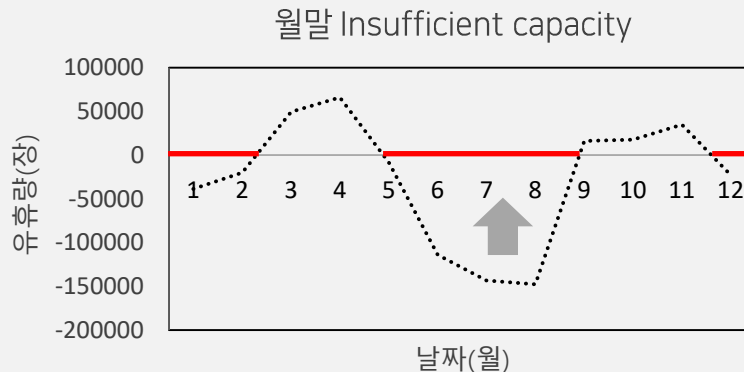
PMSO를 통한 기대효과

비용적 측면부터 근본적인 원인과 최종문제점, 더 나아가 경쟁우위 상승 효과

월초 Idle capacity 최소화



월말 Insufficient capacity 최소화



Q&A

Thank you

Reference

김창봉, 권승하, "공급체인관리의 파트너십이 위험관리 성과에 미치는 영향", 한국무역학회, Vol.38, No.1, PP.91~112, 2013.

안의국, 박상철, 왕지남, "주문생산시스템에서의 일정계획 방법론 연구", 대한산업공학회 춘계학술대회논문집, Vol.2009, No.5, PP.246~250, 2009.

서영복, 박찬권, "모기업의 발주 리드타임 단축이 협력업체의 유연성 및 경영성과에 미치는 영향: S사와 협력업체를 중심으로", 한국산업경영학회, Vol.28, No.3, PP.245~279, 2013.

이익선, 윤상흠, "총 납기지연시간 최소화를 위한 두 단계 조립시스템에서 일정계획에 관한 연구", 한국경영과학회, Vol.33, No.3, PP.1~16, 2008.

박상연, 정봉주, "MTO-MTS 혼합 생산환경에서 주문 특성에 따른 일정계획", 대한산업공학회 추계학술대회논문집, Vol.2005, No.11, PP.614~621, 2005.

노권학, 손성규, 장성호, 이종환, 정관영, 김태성, 이희수, "시뮬레이션을 활용한 Hybrid 생산 Model의 연구", 산업경영시스템학회지, Vol.34, No.2, PP.76~84, 2011.

George Zhang et al, "Dynamic pooling of make-to-stock and make-to-order operations", International Journal of Production Economics, Vol.144, No.1, PP.44~56, 2013.

김정연, 서용원, "공급업체 중단에 대비한 최적의 공급업체의 수 및 주문량 결정", 한국생산관리학회지, Vol.24, No.4, PP.269~490, 2013.

법무법인(유) 율촌, "공공계약과 지체상금", https://www.yulchon.com/download.asp?f_Name=/upload/20130624

