

# 그린 SCM에서 물질흐름원가(MFCA) 관리를 위한 시뮬레이션 활용방안

김 태 호\* · 김 진 철\* · 이 길 환\*\*

## Abstract

활동기준원가의 개념을 적용하여 Co2 절감대책을 수립한다. 물질흐름원가계산(MFCA; Material Flow Costing Accounting)을 통해 물질의 흐름을 파악하고 Co2 등의 절감을 원가로 측정하고 관리하고자 한다. MFCA(물질흐름원가계산)를 이용하여 에너지 사용량에 대한 단위시간당 가공비 계산하면 원가관리를 정확하게 할 수 있다. 그리고 구체적인 공급체인별 에너지 사용량 및 온실가스 배출량에 대한 개선 목표를 설정할 수 있다. 시뮬레이션 기법을 이용하면 프로세스별 원가계산이 가능하고, 다양한 시나리오를 편리하고 신속하게 분석할 수 있다.

**Keywords:** MFCA, 가공비, 시뮬레이션

## 1. 서 론

자동차 산업의 그린 SCM에 물질흐름원가의 적용을 위한 시뮬레이션 활용방안을 제시하고자한다. 활동기준원가의 개념을 적용하여 Co2 절감대책을 수립한다. 물질흐름원가계산(MFCA; Material Flow Costing Accounting)을 통해 물질의 흐름을 파악하고 Co2 등의 절감을 원가로 측정하고 관리하고자 한다. 국내 운행중인 자동차에서 배출되는 온실가스 총배출량은 연간 7,000만 톤으로 이는 CO, THC, Nox, SO2, 먼지 등을 포함한 전체 대기오염물질의 20배에 해당된다고 한다[7].

본 연구에서는 자동차 산업을 중심으로 Co2절감 대책을 연구하고자 한다. MFCA구축을 위한 기준이 되는 업무프로세스별, 공급체인 별 기준이 되는 활동기준원가를 계산하여 개선 및 혁신에 대한 원가관리를 실시하는 방법을 제시하고자 한다. 연구방법으로는 MFCA를 적용하여 Arena 시뮬레이션 기법을 이용하기 위한 절차와 접근방법에 대해 연구하고자 한다.

\* 명지전문대학

\*\* 명지대학교 산업경영고학과

## 2. 물질흐름원가계산(MFCA; Material Flow Costing Accounting)에 시뮬레이션 적용방법

본 연구는 다음과 같은 절차 및 방법에 의해 실시한다.

- 1단계 : Supply Chain 별 Green Technology 현황분석
- 2단계 : Supply Chain 별 Green Technology 이슈 및 문제점 검토
- 3단계 : 공급체인별 Co2 계산
- 4단계 : Co2 감축 및 원가개선 대책
- 5단계 : MFCA 분석
- 6단계 : MFCA 시스템 구축
  - Cost Table 작성을 통한 가공비 계산
  - 원가배부 기준 설정
  - 단위 시간당 노무비, 설비비 계산
  - 가공비율 계산
  - 에너지 총사용 원가계산
  - 온실가스 배출 원가계산
- 7단계 : Arena 시뮬레이션 분석
  - ① 시뮬레이션 모델링
  - ② 시뮬레이션 결과 분석

## 3. 그린 SCM 시스템에 MFCA 적용방법

그린제조시스템은 “생산현장에서뿐만 아니라 설계, 생산, 유통, 소비 및 폐기의 전 과정에서 자원 및 에너지의 효율성을 극대화하고 환경적인 유해요인을 최소화 할 수 있도록 생산공정이나 제품을 개선해 나가는 접근방법”이라고 볼 수 있다[3]. 따라서 그린 SCM은 여기에 공급업체도 포함시켜 공급망의 가치와 효율 그리고 탄소생산성을 높이는 접근방식이 확대되어 적용되어야 한다.

[표3-1] 일본 주요기업 탄소생산성 평가결과[2]

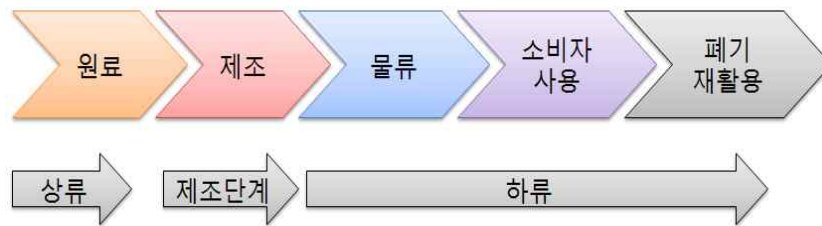
(단위 : 천엔/CO2톤)

구분	업종	이익 기준 탄소 생산성	매출 기준 탄소 생산성
도요타자동차	완성차	877	7,645
소니	종합가전	440	4,866
샤프	종합가전	320	2,375
미쯔이화학	종합화학	10	197
신일본제철	철강	9	47
미쯔비시화학	종합화학	7	154

(1) 공급망 단계별 개선방안

공급망을 상류, 제조, 하류 단계로 구분하여 개선방안을 제시하면 다음과 같다.

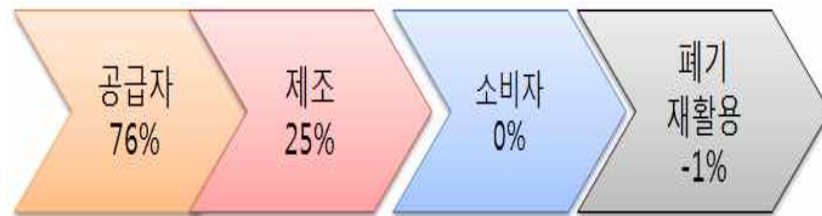
- ① 상류 : 원료, 연료의 채취, 생산, 운반 및 그 과정의 폐기물
- ② 제조단계 : 온실가스
- ③ 하류 : 제품의 운송, 보고한, 도소매유통, 소비자 사용, 제품의 폐기, 재활용에 의한 온실가스



[그림 3-1] 공급체인별 온실가스 및 폐기물 개선방안

코카콜라의 공급망 프로세스별 Co2 발생 비율 현황은 다음과 같다.

공급자에서 76%가 발생하고 제조에는 25%가 발생하고 있다.



[그림 3-2] 코카콜라의 공급체인별 Co2 발생 비율 현황

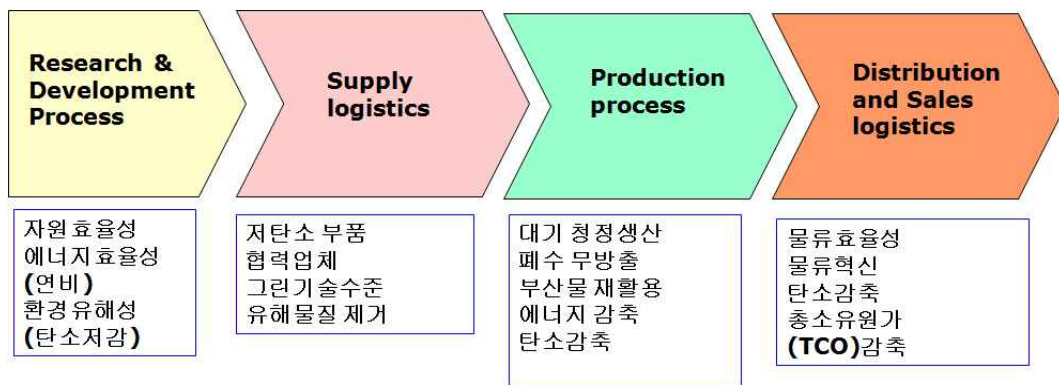
자동차 산업은 고유가, 원자재 가격 급등 기업외적요인과 함께 많은 위험 요인이 도사리고 있으므로 경쟁력을 유지 및 발전을 위해 이익지대를 확대시켜나가야 한다. 가솔린 경제에서 수소경제로 넘어가는 시기가 향후 10년 후가 될 것으로 예측되고 있다. 따라서 이런 기회를 잘 이용하면 세계 최고의 자동차 산업단지로 성장할 수 있을 것이다[6].

[표 3-2] 자동차 산업에 적용되는 변화내용

구분	변화	영향 내용
기후변화	기온 상승	냉동 성능 요구증가
제도변화	국제 협약	오존층 파괴물질 규제
	온실가스 배출 규제	연비 및 배기가스 규제, 탄소세 부과 철강, 알루미늄, 유리 등 주요 소재에 대한 규제
	제품환경규제	재활용율 규제 (ELV), 라벨링 제도 화학물질 사용 규제, 유해물질 함유 규제 (ELV)
비용변화	자원고갈	자원 사용량 많음
	환경규제 강화	환경규제 영향 큼
	환경비용 증가	환경오염 발생 많음
	신재생에너지 시장 도약	연료전지 개발 기회
	녹색 소비 증가	고연비, 친환경 자동차 수요 증가 바이오 연료 사용 증가 자전거, 오토바이, 기차 수요 증가

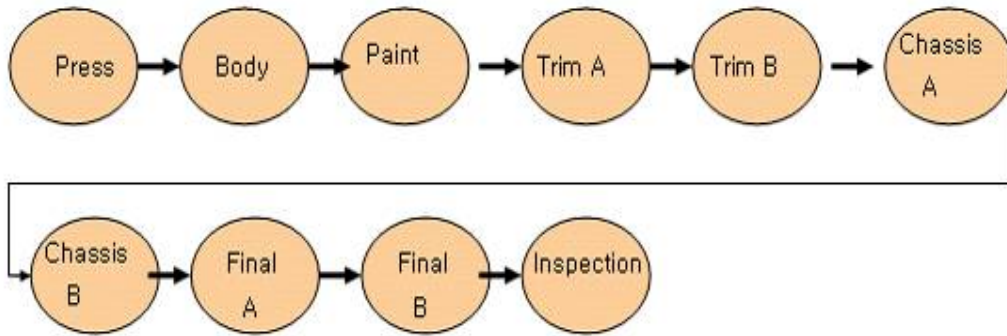
자료 : 양인목 저, 그린오션, 토네이도, 2009, p208.

자동차 산업의 업무 프로세스는 크게 개발(R&D), 조달물류, 생산, 유통 및 판매로 나누어 볼 수 있다.



[그림 3-3] 자동차 산업의 그린 공급망 프로세스 별 대책

자동차의 생산 공정은 다음과 같다.



[그림 3-4] 자동차 생산 공정

자동차의 공정은 프레스, 차체, 도장, 의장 공정으로 이루어져 있으며 주요 관리 포인트는 다음과 같다[6].

- ① 프레스 : EPQ(경제적 생산량), 준비시간 단축, TPM, 품질관리 등
- ② 차체(Body) : TPM, 개량보전, 자동화 연구, 준비시간 단축(Tool 교환) 등
- ③ 도장(Paint) : 준비시간 단축, 품질관리, 통계적인 공정관리 등
- ④ 의장조립(Assembly) : 택트타임 관리, 간이자동화, 조립자동화, 동작개선, 모듈생산 및 모듈설계, DFM & A

자동차 공정은 생산리드타임 단축과 택트타임관리를 통하여 생산기간과 에너지 사용을 절감시킬 수 있다. 그리고 자동차 산업에서 가장 중요한 이슈는 연비개선이다. 연비를 감축하기 위해서는 엔진의 효율을 높이고, 경량화 방안, 그리고 하이브리드 및 전기차를 통한 개선방안이 있다. 모듈생산 등을 통해 부품수를 줄이고 조립공정을 개선하는 것도 실질적인 방법이다.

현대자동차는 다음과 같은 환경경영 실행하고 있다[4].

- ① 친환경 차량개발(하이브리드 전기자동차, 수소 연료전지차, 바이오 연료차)
- ② 연비 개선(변속기 효율 향상, 경량화)
- ③ 친환경브랜드 출시
- ④ 배출가스와 유해물질 저감

자동차에서 방출되는 물질 중 대기오염의 원인이 되는 것은 배기관에서 배출되는 물질과 블로바이 가스, 연료 공급계통에서의 증발가스 등이다. 배기관으로부터 방출되는 물질은 다음과 같다[6].

- ① 연료의 연소생성물
- ② 불완전연소의 생성물

- ③ 미연소연료·분해생성물
- ④ 연료첨가물의 연소생성물
- ⑤ 불순물의 연소생성물
- ⑥ 고온의 연소실에서 주로 공기의 성분이 화학변화한 것 등

[표 3-3] 그린 SCM을 위한 주요 KPI

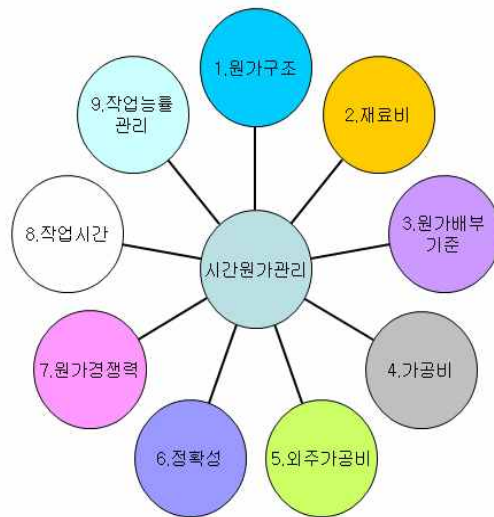
개발(R&D) 개선실적	조달물류 개선 및 혁신 실적
설계개선실적(DFM, DFA, DFE, DFC, DFP), 기술발전실적, 협력업체부품개발실적, 탄소저감 개선실적, 연비 향상실적, 유해물질 개선실적, 생산리드타임 개선 실적	재고일수 및 재고회전을 개선 실적, 협력업체 발전(매출액, 영업이익율) 실적, 협력업체 탄소개선 기술지원실적, 원재료 생산성, 물류비용(협력업체, SCM 물류비용), 긴급발주율 개선실적, 탄소 감축 실적, 협력업체 탄소 및 유해물질 감축실적
생산 개선 및 혁신 실적	판매 및 유통 개선 및 혁신 실적
품질개선실적, 동작개선실적, 에너지 제안실적, 작업개선 실적, 공정개선 실적, 관리자 및 근로자 교육시간 및 비용, 경제적 생산량(로트크기), 7대 낭비원가 개선실적, 생산성(수율, 공정불량 등), 품질실패비용, 설비고장율, 준비시간, 텍트타임, MTBF 및 MTTR 개선 실적, 산재율, 작업능률, 가동율, 양품수, 작업시간, 불량률 및 불량원인 개선 실적, 재료사용량 개선실적, 모듈 수 & 모듈개선실적, 탄소감축 및 유해물질 개선 실적	시장점유율 개선 실적, 대당 판매이익 및 판매이익률, 고객 총소유원가(TCO) 개선 실적 중고가격 향상, 상품재고일수 및 상품재고회전을 개선 실적 납기 준수율 개선 실적, 수요예측의 정확성 고객만족도(고객서비스, 신뢰성 등) 향상 실적, 연비개선을으로 탄소감축 실적

자료 : 김태호, 조경석, 2008, 자동차 산업의 경쟁력 강화를 위한 TPS성과지표개발, 한  
 국경영컨설팅학회, 제8권 제 2호 자료를 편집하였음.

#### 4. 물질흐름원가계산(MFCA; Material Flow Costing Accounting) 방법

(1) 가공비 계산

시간원가관리는 다음의 9가지 내용으로 구성된다.



[그림 3-5] 시간원가관리 개념

공급체인별 단위시간당 가공비를 계산한다.

가공비는 단위 시간당 비용을 계산하여 구한다. 단위 시간당 가공비를 계산하기 위해서는 다음과 같은 [그림]과 같이 시간원가관리에 대한 이해와 개념이 정비되어 있어야 한다.

가공비는 노무비 그리고 건물비, 설비비를 합산하여 단위시간당 가공비를 다음과 같이 나타낼 수 있다[5].

$$\begin{aligned}
 \text{건물비} &= \sum_1^n IBC_i \\
 &= BC1(\text{건물상각비}) + BC2(\text{건물수리비}) + BC3(\text{조명비}) + BC4(\text{냉·난방비}) \\
 &\quad + BC5(\text{건물보험료})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{설비비} &= \sum_1^n IPC_i \\
 &= PC1(\text{설비상각비}) + PC2(\text{설비수리비}) + PC3(\text{설비보험료}) + PC4(\text{설비동력비}) \dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{노무비} &= \sum_1^n ILC_i \\ &= LC1(\text{직접노무비}) + LC2(\text{간접노무비}) + LC3(\text{복리후생비}) \cdot \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{단위시간당 가공비} \\ &= \text{건물비} + \text{설비비} + \text{노무비} \\ &= \sum_1^n IBC_i + \sum_1^n IPC_i + \sum_1^n ILC_i \end{aligned}$$

자동차 생산공정의 주요공정인 프레스, 차체, 도장, 조립 라인의 단위시간당 가공비율(가공임률)을 적용하여 가공비를 계산한다. 이 때 공정별 작업능력(의장라인) 이나 가동률(설비위주공정)를 적용한다.

공정별 가공비 = 가공비율 x 가공시간 / 작업능력

(2) 에너지 사용량 및 탄소배출량 계산

탄소관리 측정 및 평가 프로세스에 대해 Deloitte 컨설팅은 다음과 같이 제시하고 있다.

[표 3-4] 탄소관리 측정 및 평가 프로세스(Deloitte)

프로세스	프로세스 별 주요내용
범위와 전략 (Scoping & Strategy)	기업의 온실가스 관리 방법론, 관리목적, 대상범위 및 일정계획 등을 수립
측정(Measure)	기업의 환겨에 맞는 산정방법 및 온실가스 배출원을 정의하여 1단계의 범위 및 중요성에 따라 온실가스 배출량을 산정
목표수립 (Set Objective)	기업의 현재 및 미래 경영환경을 고려하여 시나리오별 배출량 목표를 설정
Inventory System	효율적인 온실가스 관리를 위하여 Deloitte가 자체 개발한 Inventory System을 기업의 전산환경에 맞추어 고객화(Customizing)
Avoid. Reduce @ Switch	온실가스 관리목표를 위한 1단계 방안으로서 기업의 배출현황 및 프로세스 분석을 통하여 Avoid, Reduce, Switch 방안을 설계
Assess & Offset	베이스라인 및 감축옵션 시나리오 분석을 통하여 감축 잠재량을 평가하고 오프셋 전략을 수립
지속적인 경영 (Ongoing management)	지속적 온실가스 관리를 위한 IT시스템, 전담 조직, 측정 및 보고체계를 설정

자료 : 딜로이트 녹색경영센터지음, 녹색경영, 영진, 2010, p.126.



포스코에서는 다음과 같은 환경개선지수를 설정하여 관리하고 있다.

[표 3-5] POSCO 환경개선지수

구분	지표 및 구성 항목	
운영성과 지수	자원사용 지표 유해물질 지표 폐기물 지표 배출물 지표	에너지, 용수 유해화학물질 사용량 폐기물 발생량 및 재활용률 대기 및 수질 오염물질 배출총량
경영성과 지수	EMS 지표 법규 준수 지표 환경 재무 지표	EMS 추진 계획, 실천, 결과 평가 행정처분 건수 설비 투자, R&D, 의무 비용
환경여건 지수	대기질 지표 수질 지표	제철소 주변의 대기질 농도 제철소 주변의 해양수질 농도

자료 : 딜로이트 녹색경영센터지음, 녹색경영, 영진, 2010, p.125.

본 연구에서는 다음과 같은 내용에 대해 에너지 사용량을 계산한다.

- ① 에너지별 직접사용량 계산
- ② 에너지별 간접사용량 계산
- ③ 신재생에너지 생산량
- ④ 직접적 온실가스 배출량
- ⑤ 협력업체 등 구매기업의 간접적인 온실가스 배출량
- ⑥ 물류로 인한 온실가스 배출량

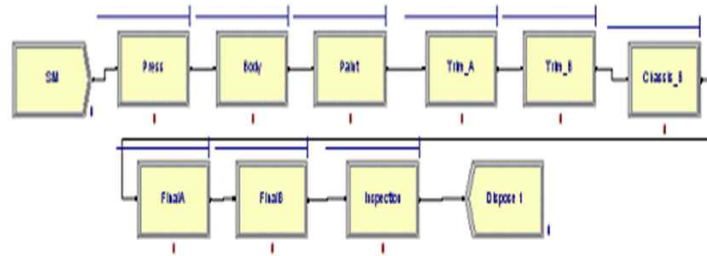
(3) 에너지 사용량 원가계산

공급체인별 단위가공비 가공비 기준으로 다음과 같은 에너지 사용에 따른 원가를 계산한다.

- ① 공급체인별 직접에너지 사용량 원가계산
- ② 공급체인별 간접에너지 사용량 원가계산
- ③ 공급체인별 신재생에너지 생산량 원가계산
- ④ 소비자가 사용하는 에너지 사용량 원가계산

(4) Arena 시뮬레이션 분석

시뮬레이션에 대한 모델링은 다음과 같은 Arena 시뮬레이션에 의해 실시하고자 한다.



[그림 3-6] Arena 시뮬레이션 모델링(예)

## 5. 결론

공급체인별로 사용되는 에너지 사용량과 배출량을 계산하여 관리하는 것은 에너지 감축에 대한 목표관리를 가능하게 한다. MFCA(물질흐름원가계산)를 이용하여 에너지 사용량에 대한 단위시간당 가공비 계산하면 원가관리를 정확하게 그리고 보다 세밀하게 할 수 있어 현장의 실적관리로도 활용할 수 있다. 그리고 구체적인 공급체인별 에너지 사용량 및 온실가스 배출량에 대한 개선 목표를 설정할 수 있다. 시뮬레이션 기법을 이용하면 프로세스별 원가계산이 가능하고, 다양한 시나리오를 편리하고 신속하게 분석할 수 있다.

하이브리드 차량은 기존의 가솔린 차량에 비해 온실가스 배출을 40%로 줄일 수 있다고 한다[7]. 우리 기업들도 MFCA를 이용하여 구체적인 에너지감축과 온실가스 등을 줄일 수 있는 실행전략이 필요한 시기이다.

## 6. 참고 문헌

- [1] 김태호, “전사적 이익관리”, 시스템컨설팅, 2000.
- [2] 삼성지구환경연구소, 녹색경영이 만들어가는 저탄소사회, 2009.
- [3] 딜로이트 녹색경영센터지음, 녹색경영, 영진, 2010.
- [4] 양인목 저, 그린오션, 토네이도, 2009.
- [5] 김태호, 조경석, 자동차 산업의 경쟁력 향상을 위한 경영성과지표개발, 한국경영컨설팅학회, 2008.
- [6] 네이버 백과사전
- [7] 매일경제녹생성장팀저, 그린쇼크, 매일경제신문사, 2009.
- [8] 정길채, 물질흐름회계 실무도입 가능성에 대한 탐색적 연구, 한일경상논집, 제35권, 2006.
- [9] 김태호, 조경석, 2008, 자동차 산업의 경쟁력 강화를 위한 TPS성과지표개발, 한국경영컨설팅학회, 제8권 제 2호

- [10] 김태호, 2011, 현장중심의 작업관리, 토파민.
- [11] 김태호, 2007, 생산관리, 범한.
- [12] 김태호, 2006, 전사적 이익경영, 시스템컨설팅.
- [13] 김태호, 2005, 국가경쟁력 강화를 위한 공급망경제(Supply Chain Economic)전략, 한국경영컨설팅학회, 제5권 제 1호
- [14] 김태호 공저, 2004, 생산경영, 범한.
- [15] 김태호, 양광모, 권정휘, 강경식, 2003년 1월, Lean SCM에서의 모듈생산의 적용에 따른 모델개발과 원가분석, 안전경영과학회.
- [16] 김태호, 2002, 현대자동차 세계1등 전략보고서.
- [17] 김태호, 나승훈, 강경식, 2001년 3월, SCM(Supply Chain Management)에서 최적 생산시스템 모델개발, 한국안전경영과학회.
- [18] 김태호, 강경식, 황경수, 1993, COST TABLE을 이용한 품질코스트 계산에 관한 연구, 한국품질관리학회지, 제21권 제2호.
- [19] Tae Ho Kim, Kwan Jeong Hwi, 2007, The Study of Success Factors for Car Industry, International Conference of Computer & Industrial Engineering, CIE 37.
- [20] Tae Ho Kim, 2003, Wegener Malcolm, JIT Success factors of primary commodities in the SCM(Supply Chain Management)Australia, ASOR.
- [21] Tae Ho Kim, Jae Hyun Park, Kyung Sik Kang, and Kwang Mo Yang, 2002, The Development of Modular Production Systems Models related JIT in Supply Chain Management, Proceedings of International conference of Industrial Engineering.
- [22] Kim Tae Ho, Seung-Houn La, 2000.4, Production cost estimating using cost table in web base. INFORMS, SEOUL.