

Optimization Methodology for Sales and Operations Planning by Stochastic Programming under Uncertainty : A Case Study in Service Industry

Seon Min Hwang · Sang Hwa Song[†]

Department of Logistics Management, Graduate School of Logistics,
Incheon National University

불확실성하에서의 확률적 기법에 의한 판매 및 실행 계획 최적화 방법론 : 서비스 산업

황선민 · 송상화[†]

인천대학교 동북아물류대학원 물류경영학과

In recent years, business environment is faced with multi uncertainty that have not been suffered in the past. As supply chain is getting expanded and longer, the flow of information, material and production is also being complicated. It is well known that development service industry using application software has various uncertainty in random events such as supply and demand fluctuation of developer's capacity, project effective date after winning a contract, manpower cost (or revenue), subcontract cost (or purchase), and overrun due to developer's skill-level. This study intends to social contribution through attempts to optimize enterprise's goal by supply chain management platform to balance demand and supply and stochastic programming which is basically applied in order to solve uncertainty considering economical and operational risk at solution supplier. In Particular, this study emphasizes to determine allocation of internal and external manpower of developers using S&OP (Sales & Operations Planning) as monthly resource input has constraint on resource's capability that shared in industry or task. This study is to verify how Stochastic Programming such as Markowitz's MV (Mean Variance) model or 2-Stage Recourse Model is flexible and efficient than Deterministic Programming in software enterprise field by experiment with process and data from service industry which is manufacturing software and performing projects. In addition, this study is also to analysis how profit and labor input plan according to scope of uncertainty is changed based on Pareto Optimal, then lastly it is to enumerate limitation of the study extracted drawback which can be happened in real business environment and to contribute direction in future research considering another applicable methodology.

Keywords : S&OP, Markowitz's MV Model, Recourse Model, Uncertainty, Pareto Optimal

1. 서 론

복잡성이 가속화되고 있는 경영 환경에서 기업은 목표 달성 및 유지를 위하여 시장 트렌드에 맞는 전략을 지속적으로 강구하고 있으며, 또한 고객 요구에 대한 신속하고 정확한 대응을 위하여 수요와 공급 간의 긴밀한 조정을 수행하고 있다. 다수의 글로벌 기업들은 시장 중심의 합된 운영규칙에 기반하여 전사 이익을 극대화할 수 있는 판매생산 단일계획(Single Plan) 수립의 필요성을 강조하고 있으며, 이의 결과로 재무적 혹은 운영적 인 기능 향상을 기대하는 S&OP 프로세스를 통하여 공급망 구성원 각각의 목표에 기인하여 부서간의 갈등 및 트레이드오프 등의 취약점을 극복하려는 활동을 전개하고 있다.

S&OP 프로세스는 주로 생산, 유통, 구매 및 물류의 프로세스를 가지고 있는 제조기업을 중심으로 정착되어 운영되고 있으나, 서비스 산업의 경우에는 제조기업과 같은 다양한 불확실성을 가지고 있음에도 S&OP의 개념은 부족한 상황이다. 특히, 소프트웨어 플랫폼을 기반으로 기업 내의 응용 어플리케이션을 구축하는 프로젝트 수행기업을 대표적인 사례로 들 수 있다. Lee[11]는 네트워크 외부성에 대한 이론, 거래비용이론, 그리고 기업의 지원기반관점을 바탕으로 소프트웨어 기업의 협력관계 지속의도를 연구하였으며, 이들 이론을 바탕으로 중소 소프트웨어 회사와 대기업 간의 기술적 양립성, 중소 소프트웨어 회사의 기술적 고립, 대기업 기술의 네트워크 사이즈, 대기업 기술의 불확실성 등을 중소 소프트웨어 업체의 파트너쉽과 관련한 변수로 도출하였으며, Kim et al.[8]은 표준화와 요구사항 불확실성이 잔여성과위험이라는 매개 변수를 통해서, 소프트웨어 개발프로세스와 제품 성과에 영향을 미친다는 결과를 발표하였다. 우리나라 소프트웨어 기업의 경우 상대적인 성숙도가 낮아서 프로젝트 관리자와 같은 개인 능력에 의해 성과가 영향을 받는다고 연구하였다.

이와 같이, 기업의 규모와 관계없이 컨설턴트 및 개발자 공급능력, 프로젝트 수요와 계절성, 수주 후 프로젝트 시작시점, 매출단가와 외주비(매입단가), 현장에서의 요구사항 변경, 투입인력의 역량에 따른 추가공수 발생 등 임의 이벤트에 대한 다양한 불확실성을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

본 연구는 소프트웨어 공급 및 프로젝트 수행사의 경제적인 기업 운영에 대한 설계와, 불확실성의 해결에 주로 사용되는 확률적 기법의 프로그래밍과 분석, 그리고 영업과 실행의 균형을 맞추기 위해 사용되는 제조기업의 S&OP 방법론을 적용하여 서비스 기업의 수익 최적화에 대한 시도를 통해 사회적 공헌을 기대해 본다. 프로젝트

에 따른 인력배치에 있어서 여러 차원의 매트릭스로 세분화되어 있는 전문 인력의 할당은 제한적이므로 본 연구에서는 업종, 업무 및 등급별 중장기 인력 투입계획을 통하여 사내요원 및 외주인력의 공급능력을 결정하는데 초점을 맞추고자 한다.

2. 연구관련 선행연구

2.1 Sales and Operations Planning

Schlegel and Murray[14]는 S&OP의 필요성과 기대효과를 역설하면서 공급망에서의 불확실성의 종류를 공급과 수요별로 정리하여 제시를 하였으며, 확률기반의 시나리오 계획에 대한 플랫폼을 제작하여 듀폰의 S&OP 프로세스에 적용하여 수요관리가 가능하도록 제안하였다.

Figueiredo et al.[4]는 전사 수익 최대화 관점에서 엔지니어링, 구매, 마케팅 및 영업과 생산의 조정을 위해 복잡하지 않은 다구간 분석 모델을 설계하여 부품 공급관리 및 최종 조립을 포함한 통합 생산계획에 대한 2-stage 다구간 최적화 모형을 제시하여 최적의 제품 및 고객 결정을 위해 수익기반의 S&OP 개념을 확장하였다.

Hwang and Song[6]은 자동차 산업에서의 수요 불확실성을 해결하기 위하여 Recourse Model을 활용하여 판매, 생산 및 구매계획의 통합계획을 2단계 확률적 기법을 제시하여 판매계획 조정 및 합의의 결과로 생성된 시나리오별 모든 경우의 가능성을 반영하여 발생하는 위험에 적극적으로 대응할 수 있는 수익성 최적화 목적의 S&OP 모델을 설계하였다. 이로써, 여러 시나리오의 모든 발생 가능성을 포함한 유연성 있는 의사결정이 가능해 질 것으로 판단한다.

S&OP는 경영목표 달성을 위한 업무 조율 프로세스이며 환경변화에 대응하는 업무 방식으로 “계획대로 실행하는 체계”를 구축하는 것을 목표로 하며, 다수의 제조기업은 S&OP를 통하여 재고의 감소 보다 효율적인 리소스 활용, 처리량 증대, 납기만족도 증가, 예측 가능한 매출흐름, 최적의 수익과 자금흐름 등의 효과를 기대하고 있음을 선행연구를 통하여 알아보았다. 서비스 기업에서도 동일한 방법을 적용해 보고 위와 같은 효율적인 운영이 가능한지를 연구하도록 한다.

2.2 불확실성하의 최적화 기법

일반적인 선형계획(Linear Programming) 문제는 주어진 입력정보가 확정적임을 가정하여 최적해를 제시한다. 그러나, 현실세계의 불확실성이 존재하는 문제에 적용할

경우, 도출된 결과 값이 더 악화될 수 있는 한계점을 가지고 있으며 이를 극복하기 위해 목적함수나 제약조건의 계수 중에 확률적 요소를 포함하는 “불확실성을 고려한 확률적 계획”이 제안되고 있다.

Higle[5]은 일정개수 (N)개의 시나리오 집합($\omega = \{1, \dots, N\}$)을 이용한 Recourse model을 제시하였다. 한 번에 하나의 시나리오만 문제를 풀 수 있는 확정적 계획(Deterministic Programming) 모형은 수요에 있는 잠재적인 불확실성에 대한 고려가 없으므로 의미 있는 기대이익의 표현은 불가능하지만, Recourse model을 이용하면 다양한 시나리오의 잠재적인 영향의 균형을 맞출 수 있는 솔루션으로 설계가 가능해진다.

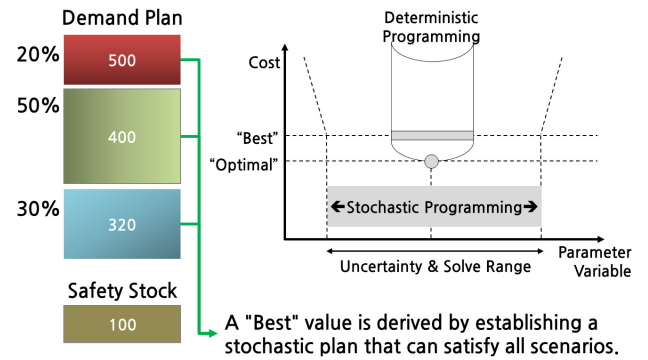
Carneiro et al.[2]은 시나리오 기반의 접근방법과 3가지의 불확실 요소를 이용하여 전략계획을 수립하였으며, 불확실성을 다루기 위하여 리스크 측정치로서 CVaR를 채택하여 6곳의 정유회사에 적용하였다. 논문의 목적은 정유회사의 공급망 분석에서의 기대 Net Present Value (NPV)를 최대화 하는 것으로써 여러 시나리오의 최적화를 통하여 NPV의 변동을 분석하였다.

Kim[9]는 빅데이터 시대의 미래전망을 통하여 현대의 시대는 만물이 격변하는 불확실성 시대를 살아가고 있으며 새로운 도구와 사고가 기존의 인류문명을 재구성하는 특별한 시기에 직면해 있으며 미래연구는 빅데이터라 불리는 크기(Volume), 속도(Velocity), 다양성(Variety), 변동성(Variability), 복잡성(Complexity) 등의 요소를 이용하여 미래를 진단하는 방법이 있으나 이 또한 미래에 측으로서 주관적이고 자의적인 논리가 되며, 새로운 트렌드가 무시될 수 있으며, 경험적 사실에 기반하여 체계화가 어렵게 될 수 있는 한계에 부딪힌다고 보았다.

Song[15]은 수요에 대한 왜곡과 증폭으로 기인된 불확실성은 공급사슬 상의 각 주체들의 비계획적인 주문 및 재고증가가 유발되는 등의 체적효과(Bullwhip Effect)를 주제로, TRIZ(Teoriya Resheni ya Izobretatelskikh Zadach) 이론을 활용하여 여러 선행연구를 분석하고 향후 연구방향을 제시하였으며, Jung and Lee[7]는 수요의 평균과 분산만이 알려진 상황 하에서 공급에서의 불확실성인 수율 문제를 고려하여 최적의 생산량을 결정하는 강건한 뉴스벤더 모델을 분석하였다.

본 연구에서는 위와 같은 시도에 대한 선행연구를 기반으로, 미래진단을 수행하였음에도 불구하고 예상과는 다른 결과가 발생하였을 때 야기되는 정량적인(혹은 정성적인) 손해를 최소화 시킬 수 있는 방법에 대하여 알려진 다양한 방법론을 조사하고 각 방법론을 서비스 산업의 판매-실행상의 리소스 계획에 대한 RCCP(Rough Cut Capacity Plan) 사례에 적용하여 확정적 계획과 비교 분석한 후 여러 확률 기반의 방법론에 대한 우위 및 적용 가능성을 가

늬해 보고, 최종적으로 파레토 옵티멀 분석을 통하여 각 요소의 트레이오프 분석 및 결과에 대한 선정과정을 제시해 본다.



<Figure 1> Stochastic Programming

확정적 계획은 계획과 상이한 결과가 발생하는 경우 ‘재고발생’ 및 ‘판매기회 상실’ 등의 위험이 수반된다. <Figure 1>와 같이 불확실성을 고려한 확률적 계획(Stochastic Programming)을 적용하면 전체 시나리오를 만족하는 최상의 대안을 도출할 수 있다. Schlegel and Murray[14]는 그의 논문에서 공급망 전체에서의 불확실성 요소들을 <Table 1>과 같이 인용하였다.

<Table 1> Sources of Uncertainty in the Supply Chain(Van Landeghen and Vanmaele, 2002)

○ Low | ○○ Medium | ○○○ High

Sources of Uncertainty	Operation 0-45 Days	Tactical 1-18 Months	Strategy 1-5 Years
Exchange rates	○○○	○○	
Supplier Lead times	○	○○○	○
Supplier Quality	○○	○	
Manufacturing Yield	○○	○○	
Transportation times	○○	○○	○
Stochastic costs	○	○○○	○○
Political environment			○○
Customers regulations	○	○○	○○○
Available capacity	○○	○○	○
Subcontractor availability	○○○	○○	
Information delays	○○○	○○	
Stochastic demand	○	○○○	○○
Price fluctuation	○	○○○	○

여러 시나리오 계획 수립에 필요한 시간의 제약과 시나리오 자체의 모호함으로 인하여 업무 현장에서는 확률 기반의 계획 수립에 대한 고려가 어려웠으나, 최근 기업이

방대하게 축적하고 있는 빅데이터 기반으로 불확실 요소 데이터를 n 개의 클러스터로 묶는 알고리즘을 적용하여 다양한 시나리오에 대한 확률 구간 생성이 가능하게 되었으며, 이로 인해 확률적 계획에 대한 시도가 점차 수월해질 것으로 판단한다.

2.3 서비스 산업의 영업 및 운영계획 최적화

Berman et al.[1]은 식당, 호텔, 주유소 및 편의점 등 많은 분배센터를 보유하고 있는 서비스 산업에서의 공급 능력 확장 계획을 수요의 불확실성하에서 시나리오 기반의 확률적 계획법을 이용하여 스케줄링 하였다. 기업의 기대이익을 최대화 시키면서 공급능력의 크기, 위치, 적정 시점에 대한 의사결정 항목들을 스케줄링 하였다.

Cook et al.[3]은 헬스케어 분야에서의 서비스를 공급하는 기업의 효율적인 공급망 관리를 위하여 관계의 생성 및 유지, 공급채널에의 신기술 적용, 공급망 효율성 증대를 위한 예측기법, 전략적 무기로서의 비용 관리의 5가지 도구를 강조하였으나, 기업에서의 프로세스 적용 시 발생하는 행동 및 태도의 변화관리에 대하여 한계를 기술하였다.

Watts et al.[17]은 실제능력의 5가지 척도를 서비스 산업의 리소스 능력이라 정의하였으며, 설비나 시스템의 가동율은 의사결정에 긍정적인 영향을 주는 요소가 되므로 가동율의 산출시 이론능력을 사용하는 것이 시간의 경과에 따른 가동율에 큰 영향을 끼칠 수 있다고 연구하였다.

또한 Wang과 Olsen[16]은 서비스 수요의 계절성은 인간의 행동에 크게 의존하고 있지만 트레이드오프를 분석하기 위한 이론적 용량을 사용하면 리스크가 크게 증가될 수 있으므로 기기 및 인프라의 투자를 통하여 수요와의 밸런스를 맞추는 것이 효율적이라고 기술하였다.

일반 제조기업과 달리 직접적인 생산 프로세스와 안전재고를 보유하지 않는 서비스 산업의 경우, 다양한 불확실성 요소를 보유하고 있음에도 불구하고 제조기업과 같은 유연한 S&OP 방법론을 적용한 연구 보다는 변화관리, 가동율 산출, 스케줄링 및 인프라 투자 등의 선행 연구를 확인해 볼 수 있었다.

2.3.1 기존 연구와의 차별성

기존 연구는 제조기업의 공급망 계층에서 공급망계획의 각 모듈을 통합하여 불확실성을 고려한 S&OP 단일 계획을 수립하고, 시나리오 모델 기반의 확률적 계획 방법을 이용하여 통찰력 있고 유연성 있는 진화된 모형을 구현하였다. 수익성에 기반한 판매계획 수립 시점으로부터 생산계획, 자재 및 부품의 구매 및 조달까지의 과정을 얼마나 유연하고 효율적으로 의사결정을 할 수 있는지에

대한 전략적인 전사 공급망 계획 최적화를 시도하는 해외의 S&OP 및 확률적 계획 방법론에 대한 연구 등은 많은 참조가 되었다.

본 연구에서는 국내 소프트웨어 제조 및 프로젝트를 수행하는 서비스 산업의 프로세스와 데이터를 추출하여 실험을 실시함으로써 소프트웨어 기업 현장에서 확률적 계획이 확정적 계획과 비교하여 얼마나 융통성이 있고 효율적인지를 확인해 보고, 또한 불확실성의 범위에 따른 인력 투입계획 및 수익이 어떻게 변경되는지를 파레토 최적에 기초하여 분석해 본다. 마지막으로, 기업현장에서 현실적으로 적용하는데 있어 발생가능한 문제점들을 도출하여 연구의 한계를 열거해보고 적용 가능한 다른 여러 방법론을 고민하여 향후 연구방향을 제시하도록 한다.

3. 연구모형

불확실성 파라미터 개수 및 다양한 시나리오에 의해 문제 사이즈는 지수의 형태로 커짐에도 불구하고 시나리오 분석기법은 여러 논문에서 계속 고려되었으며 불확실성하의 최적화를 위한 신뢰 및 실용할 수 있는 결과를 제공한다고 증명되어 왔다. 과거 실적 데이터 기반의 계획 편향정보에 대한 Min-Max-Avg를 이용하여 불확실성 파라미터 값으로 입력 데이터에 대한 여러 시나리오를 생성하고, 이와 같이 작성된 시나리오들을 이용하여 수요 및 비용 등의 불확실성으로 인한 리스크에 적극적으로 대응할 수 있는 수익성 기반의 판매 및 실행 계획에 대한 확률적 기법을 모델링하여 설계한다. 이로써, 여러 시나리오의 모든 발생 가능성을 포함한 유연성 있는 의사결정이 가능해 질것으로 판단한다.

해당 업무에서 발생될 수 있는 리소스 투입에서의 몇 가지 불확실성을 발체하여 수요뿐만 아니라 공급에서의 불확실성을 함께 적용해 볼 수 있는 플랫폼 체계를 구축한다. 전사 경영계획 기반의 공급망 목표를 설정하여 소프트웨어 업계에서의 공급망 관리 단일계획의 방향을 제시함으로써 계획결과에 따른 운영의 실행가능성을 사전에 타진해 볼 수 있는 모델을 설계하여 계획 담당자들이 스스로 정확한 목표를 설정하고, 과학적 지식형성이 가능한 S&OP 체계를 제시해 본다.

2.3.2 모델 설명을 위한 기호정리

확정적 모델을 제시하기 위하여 다음과 같이 파라미터 및 의사결정 변수를 정의한다.

• 인덱스

$i = 1, 2, 3, \dots, I$: 전문업무분야

$j = 1, 2, 3, \dots, J$: 전문인력등급
 (초/중/고/특, 컨설팅/개발)
 $t = 1, 2, 3, \dots, T$: 계획월
 $s = 1, 2, 3, \dots, S$: 수주/매출단가 시나리오 집합

• 확정적 의사결정변수

$r_{i,j,t}$: (업무/등급/월별) 자사투입인력(Man/Month)
 $o_{i,j,t}$: (업무/등급/월별) 협력사인력(Man/Month)
 $z_{i,j,t}$: (업무/등급/월별) 투입요청계획 미할당인력

• 확률적 의사결정변수

$r_{i,j,t,s}$: (업무/등급/월/시나리오별) 자사투입인력(Man/Month)
 $e_{i,j,t,s}$: (업무/등급/월/시나리오별) 총투입인력(Man/Month)

• 파라미터

[확정적 파라미터]

$C_{i,j}$: (업무/등급별) 자사투입인력 등급별 원가
 $OC_{i,j}$: (업무/등급별) 협력사인력 등급별 원가
 $SP_{i,j}$: (업무/등급별) 인건비 매출단가
 $D_{i,j,t}$: (업무/등급/월별) 투입요청계획
 $A_{i,j,t}$: (업무/등급/월별) 자사 할당능력

[확률적 비용/단가]

$SP_{i,j,s}$: (업무/등급/시나리오별) 인건비 매출단가
 $D_{i,j,t,s}$: (업무/등급/월/시나리오별) 투입요청계획
 Ps : 시나리오별 가능확률

영업담당자는 고객과 프로젝트 투입인력을 결정하여 인력투입계획을 작성하고, 관련업무 범위 및 등급별 인건비 단가를 조정한다. 다음 단계인 영업그룹 회의에서 판매계획 조정 및 합의를 통하여 여러 개의 발생 가능한 판매 및 매출단가와 관련한 시나리오($\omega = \{1, \dots, N\}$) 집합을 생성한다.

본 연구의 목표인 불확실성하에서 다양한 복수의 시나리오를 사용하는 추계(확률)적 기법의 모델을 만들어 내기 위해서는 확정적 모델이 선행되어야 한다. 확정적 모델의 해를 구할 때는 시나리오별로 하나씩 선택 적용을 한다.

3.1 확정적 기법에 의한 연구

Maximize

$$z[s] = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \left[\left(SP_{i,j} \sum_{t \in T} r_{i,j,t} + SP_{i,j} \sum_{t \in T} o_{i,j,t} \right) - \left(c_{i,j} \sum_{t \in T} r_{i,j,t} + OC_{i,j} \sum_{t \in T} o_{i,j,t} \right) \right] \quad (1)$$

Subject to

$$r_{i,j,t} + o_{i,j,t} - D_{i,j,t} \leq 0, \forall i, j, t \quad (2)$$

$$r_{i,j,t} - A_{i,j,t} = 0, \forall i, j, t \text{ and } A_{i,j,t} \leq D_{i,j,t} \quad (3)$$

$$r_{i,j,t} - D_{i,j,t} = 0, \forall i, j, t \text{ and } A_{i,j,t} > D_{i,j,t} \quad (4)$$

$$r_{i,j,t}, o_{i,j,t} \geq 0, \forall i, j, t \quad (5)$$

$$r_{i,j,t}, o_{i,j,t} : \text{integer} \quad (6)$$

상기 모델은 중장기 구간에 따른 업무/등급별 인력할당 계획으로 식 (1)은 수익을 최대화하기 위한 목적함수로 매출총액, 자사인력 및 협력사의 공급원가로 구성된다. 식 (2)는 자사투입인력과 협력사투입인력의 합은 투입요청계획에 대한 만족 제약이고, 식 (3)과 식 (4)는 자사투입인력에 대한 자사할당 능력 제약이며, 식 (5)와 식 (6)은 각각 의사결정변수는 양수이며 정수임을 정의하는 식이다.

각 매출단가에 대한 시나리오별 투입요청인력을 만족하는 수익성 최적화(Profit Optimization) 모델링을 통하여 판매 및 실행계획 최적화 단계를 실시하는데, 확정적 기법은 다양한 시나리오를 이용하여 한 번에 하나의 시나리오를 사용하여 해를 구할 수 있다.

3.2 확률적 기법에 의한 연구 : 수요의 불확실성

첫 번째 확률적 기법은 미래 수요계획에 대한 불확실성을 반영하여 계획구간 동안 기대 수익이 최대화가 될 수 있는 2단계 Recourse Model을 채택하였다.

Maximize

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \left[P_s \left(SP_{i,j} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} e_{i,j,t,s} \right) - \left\{ P_s \left(C_{i,j} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} r_{i,j,t,s} \right) + OC_{i,j} \sum_{t \in T} o_{i,j,t,s} \right\} \right]$$

Subject to

$$r_{i,j,t,s} - A_{i,j,t} = 0, \forall i, j, t, s \text{ and } A_{i,j,t} \leq D_{i,j,t,s} \quad (7)$$

$$r_{i,j,t,s} - D_{i,j,t,s} = 0, \forall i, j, t, s \text{ and } A_{i,j,t} > D_{i,j,t,s} \quad (8)$$

$$e_{i,j,t,s} - D_{i,j,t,s} \leq 0, \forall i, j, t, s \quad (9)$$

$$o_{i,j,t} - (e_{i,j,t,s} - r_{i,j,t,s}) \geq 0, \forall i, j, t, s \quad (10)$$

$$r_{i,j,t,s}, o_{i,j,t}, e_{i,j,t,s} \geq 0, \forall i, j, t, s \quad (11)$$

$$r_{i,j,t,s}, o_{i,j,t}, e_{i,j,t,s} : \text{integer} \quad (12)$$

위의 모델이 확정적 계획 모형과 다른 부분은 Ps라는 시나리오별 가능확률과 모든 시나리오를 한 번에 적용하여 모델링 한 것이다. 수요계획의 결과에 따른 모든 시나리오별로, 2차 의사결정변수인 총투입인력(e_{ijts})과 자사투입인력(r_{ijts})이 시나리오별로 만들어지고 2차 의사결정변

수가 시나리오별 가능확률과 결합하게 되어 모든 시나리오를 만족하는 1차 의사결정변수인 협력사인력(o_{ijs}) 결정하게 된다.

Recourse model은 모든 종류의 시나리오를 충족시킬 수 있는 충분한 자원을 1차 의사결정변수로부터 확보한다. 충분히 협력사인력을 소싱하여 부분적으로나마 높은 레벨의 시나리오를 만족시킬 수 있다.

3.3 확률적 기법에 의한 연구 : 가격의 불확실성

두 번째 확률적 기법은 과거 계약실적에 의해 측정되는 가격에서의 변동성과 분산(혹은 표준편차)에 기인하는 위험도가 최소화가 되는 동시에 계획구간 동안 기대수익이 최대화가 될 수 있는 목적함수 계수에서 임의성을 다루기 위하여 고전적인 Markowitz의 MV 모델을 채택하였다.

(업무/등급/시나리오별) 인건비 매출단가는 확률 P_s 와 관련된 각각의 인덱스 s 참자로 추가하였다. 매출단가는 $SP_{i,j,s}$ 로 재정의 된다. 매출단가 계수로 수익과 관련한 목적함수를 표기하면 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$E[z] = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \left[P_s \left(\sum_{s \in S} SP_{i,j,s} \sum_{t \in T} r_{i,j,t} + \sum_{s \in S} SP_{i,j} \sum_{t \in T} o_{i,j,t} \right) - \left(c_{i,j} \sum_{t \in T} r_{i,j,t} + OC_{i,j} \sum_{t \in T} o_{i,j,t} \right) \right]$$

Mulvey et al.[13]가 연구한 것과 같이 중요한 의사결정에 앞선 기대치에 대한 목적은 의사결정자의 리스크속성과 객관적인 값의 분포 모두를 무시한다. 이에 확정적 기법의 각 시나리오별 목적값(수익)과 상기 목적함수의 결과를 이용하여 MV 접근법의 두 번째 주요성분이 되는 분산(혹은 표준편차)을 최소화시킴으로써 실행가능한 연구방법의 채용이 가능해 진다.

Maximize

$$z = E[z] - \sum_{s \in S} P_s (z_s - E[z])^2$$

Subject to

$$r_{i,j,t} - A_{i,j,t} \leq 0, \forall i, j, t \tag{13}$$

$$r_{i,j,t} + o_{i,j,t} - D_{i,j,t} \leq 0, \forall i, j, t \tag{14}$$

$$D_{i,j,t} - (r_{i,j,t} + o_{i,j,t} + z_{i,j,t}) = 0, \forall i, j, t \tag{15}$$

$$r_{i,j,t}, o_{i,j,t}, z_{i,j,t} \geq 0, \forall i, j, t \tag{16}$$

$$r_{i,j,t}, o_{i,j,t}, z_{i,j,t}: \text{integer} \tag{17}$$

식 (15)의 투입요청계획에 대한 미할당인력($z_{i,j,t}$)은 페널티 함수를 고안한 것으로 부등식제약이 등식제약으로 전환될 수 있고, feasibility violation을 위한 페널티는 목

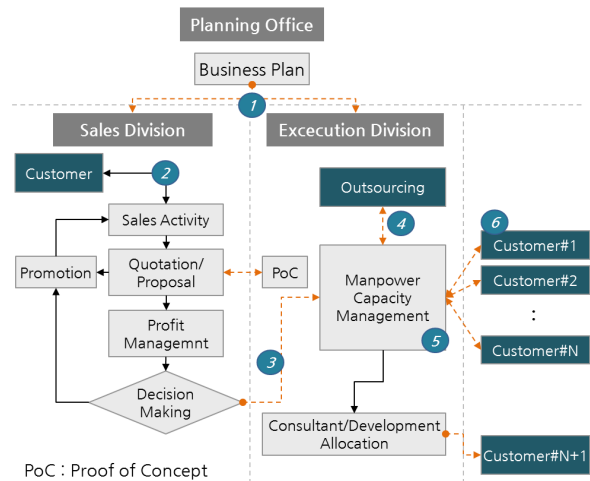
적함수에 추가할 수 있다.

4. 연구내용

4.1 Case Study 배경

국내 소프트웨어 공급업체는 대부분 솔루션 라이선스 판매를 통한 매출과 해당 솔루션을 바탕으로 전문영역에 대한 컨설팅 및 개발인력을 통한 매출 등으로 회사를 경영하고 있으나 하기와 같은 문제점을 보유하고 있다.

- 경영목표에 따른 각 본부별 목표, 계획이 상호 연관되어 있으나 유기적으로 조정되지 않음
- 외부 파트너를 통한 영업 연계가 있으나 협업에 따른 이익/손실에 민감한 충돌이 다수 발생
- 프로젝트 수주 후에도 사업 범위 및 견적에 대한 협상 지연으로 시작시점이 지연됨
- 인건비는 한국소프트웨어산업협회 노임단가로 등급별 표준 가격표가 있으나 기업체별 계약단가에 의해 인건비(매출비용)는 변동됨
- 외주업체에 제공하는 기본 가격표가 있으나, 업체별 계약단가에 따라 외주비(매입비용)는 변동됨
- 판매-실행간의 리소스 투입예정, 리소스 할당 등의 정보공유 단절
- 투입 개발자의 숙련도에 따라 개발역량의 차이가 존재하며 이에 따라 추가공수 및 프로젝트 종료 지연 발생
- 인력공급을 담당하는 ITO(IT Outsourcing) 부서는 프로젝트별 개발자 투입 및 종료와 관련하여 영업사원과 잦은 충돌 발생



<Figure 2> Business Process and Improvement Direction for Software Service Industry

4.2 개선과제의 도출

소프트웨어 서비스 업체의 판매-실행 프로세스를 <Figure 2>와 같이 정의하고 각각 프로세스간의 6가지 개선과제를 도출하였다.

- ① 기업의 목표기반 최적화 수행
 - 기업의 상세 목표(매출, 수익, 수익률 등)에 대한 우선순위를 도출하여 전체 공유
 - 매출에 대한 상세 목표에 따른 적정 인력 투입계획을 작성하고 인력충원 및 협력업체에 대한 자원계획 등을 실시
 - 인력투입에 대한 월별 소요계획으로 판매계획과의 차이 및 만회 방안 도출
- ② 고객 특성별 수주 계획 수립 체계화
 - 고객 업종 및 적용분야별 솔루션 특성 분석을 통한 선별적 고객협업
 - (고객사별) 등급별 인건비 테이블 관리로 소프트웨어산업협회 SW기술자 노임단가와와의 차이 분석
 - 협력업체와의 Win-Win 가능한 포트폴리오 계약
- ③ 수요-공급(협력업체) 연동을 통한 월간 인력 투입 계획 수립 및 정보 공유
 - 프로젝트 단위 매출금액, 수익률, 우선순위 등으로 회사 기여도에 대한 랭킹 관리
- ④ 내부직원 역량 강화 및 핵심 협력업체 운영을 통한 우수 인력 확보
 - 우수 협력업체 및 인력에 대한 데이터베이스 구축 (가능업무, 가능도구, 등급, 단가 등)
- ⑤ 비가동 인력 관리 효율화
 - 수주확도/프로젝트 시작시점/인력의 숙련도를 감안하여 프로젝트 투입전 업무이해도 고취
- ⑥ 통합 S&OP 프로세스 정립으로 전사 최적화
 - 영업/컨설팅/전략/R&D 전사 수급 발란스 최적화
 - 매월 S&OP 회의를 통한 전사 단일계획 도출

위와 같은 개선과제를 기반으로 소프트웨어를 납품 및 프로젝트를 주로 수행하는 기업에서 n개월간의 판매-실행계획 수립을 최적화하기 위한 인력 투입에 대한 RCCP 사례를 연구하였다. 판매계획 조정 및 합의의 결과로 도출된 다양한 시나리오를 기반으로 월별 자사인력투입과 협력사 인력의 조달계획으로 수주할당의 프로세스를 포함하고 있다. 본 연구에서는 중기 판매-실행계획을 통하여 적절한 업무 및 등급별 협력업체인력 투입을 결정하

는데 초점을 맞추고 있다. 서비스 산업의 공급망 전체를 통합하여 불확실성이 있는 여러 시나리오가 어떠한 결과가 되더라도 기업의 전체 이익은 향상될 수 있는 유연성 있는 확률적 모델 설계와 소프트웨어 공급업체의 모든 공급망 구성원이 기업의 전략적 경영계획을 공유할 수 있는 과학적 기반의 계획 프레임워크를 설계하여 제시해 본다.

<Table 2> Computational Experiment Plan

Input Data	Data Source	Data Creation Method
Plan Period	Basic Information	Planning horizon(4 Months)
Demand Plan	Developer allocation plan by projects	Scenario plan by probability each projects
Sales Price	Sales price table by work/level	- SW Developer Unit Price by Government - Scenarios of price result by probability contract with customers
Employee Cost	Employee cost by work/level	Using data by profit management card
Outsourcing Cost	Outsourcing cost by partner/work/level	Standard contract with each partner
Manpower Capacity	Manpower management Table	Manpower capability table by IT Outsourcing department

본 논문에서는 확률적 계획기법의 성능평가 및 실제 현장에서의 적용 가능성을 가늠해보기 위한 실험을 계획하고 그 결과를 분석한다. 본 실험의 대상이 되는 전문인력에 대한 투입계획은 3개의 업무군, 4개의 등급으로 구성하며 각 불확실성의 요소에 대하여서는 3개의 시나리오로 구성한다.

각각의 시나리오는 프로젝트별 수주확도와 과거 고객사와의 계약단가를 분석하여 시나리오를 만들어 보았으며, 의사결정수로 도식화하면 발생 가능 총 시나리오 건수는 [업무분류×등급분류×발생 시나리오]의 수량으로 가능확률 산정이 쉽지 않다. 현실적인 프로세스를 감안하여 판매계획 조정 및 합의의 과정을 통하여 도출된 3가지(평균, 최소, 최대 판매계획과 인건비 단가) 실험데이터를 산출하여 성능을 평가하였다.

각각의 모델은 Xpress Optimizer와 Xpress Mosel을 이용하여 모델링하였고 입력 및 출력 정보와 처리결과에 대한 비교분석은 Microsoft Office Excel을 이용하여 정리하였다. 특히 MV 모델의 경우에는 비선형 문제이므로 Quadratic Programming을 이용하였으며, 실험 기기의 환경은 Intel(R) Core™ i5-3220(2.60GHz×4), 4GB RAM으로 각각의 모델에 대한 처리결과는 모두 3초 이내의 현실적인 시간 내에 구할 수 있었다.

4.3 확정적 모델과 확률적 모델의 성과비교

본 연구에서 사용한 Recourse Model의 성과를 측정하기 위하여 확정적 계획 모형에서 얻은 시나리오별 결과와 확률적 계획 모형에서 얻은 결과를 비교해 보도록 한다.

<Table 3> Computational Experiment Plan under Demand Uncertainty

Case	Scenario	Model	Description	Probability Distribution(%)		
CA#1	SCN#1	DP	Min	100	-	-
CA#2	SCN#2	DP	Mean	-	100	-
CA#3	SCN#3	DP	Max	-	-	100
CA#4	Apply all Scenario	SP	Probability each SCN	20	50	30

DP : Deterministic Programming, SP : Stochastic Programming.

총 4개의 모델을 구성하였으며, 첫 번째부터 세 번째까지의 모델에서는 각각의 시나리오를 확정적 계획 기법을 이용하여 의사결정변수를 구하였고, 네 번째 모델에서는 전체 시나리오 3가지를 일시에 적용하는 확률적 계획 기법으로 의사결정변수를 구하였다. 모든 경우에서 투입인력 할당률은 100%를 적용하였고, 협력사 인력의 투입 공수를 1단계 의사결정 변수로 정의하였다. 확률적 계획 모형에서 사용된 확률 분포는 영업본부와의 협의를 거쳐 <Table 3>과 같이 적용하였다.

각 모델별 기대이익을 이용하여 절대적인 비교를 한다면, 4번 모형의 결과인 기대이익이 “평균값을 이용한 확정적 계획”인 2번 모델과 비교하여 비슷하거나 작게 형성되어 있음을 알 수 있다. 그러나, 이는 확정수요 이전의 기대이익일 뿐이고 실제 수요가 확정(분석을 위해 확정수요는 각 시나리오 계획과 동일하다고 가정함)된 후의 기대이익을 상대적으로 비교해 보았다. 이를 위해서 각 모형의 2차 의사결정 변수인 인력투입계획을 별도로 보관하면서, 각 모형에 대한 최적화 계산을 실행한 후 보관하고 있던 인력투입계획을 대입시켜 보면서 수익성을 계산해 보면 기대이익의 결과를 분석해 볼 수 있다. 이렇게 하여 각 모형별 분석을 해보면 <Table 4>와 같은 결과를 확인할 수 있다.

<Table 4>의 결과비교표를 분석해 보면, 1번 모형은 더 많은 수주가 발생하더라도 인력 고용 및 확보를 소극적으로 한 결과 수주기회에 대한 손실이 발생한다. 반대로 3번 모형은 협력사 인력 확보 활동을 적극적으로 했지만 수주결과가 그에 미치지 못하는 경우 인력 과잉 고용 및 확보에 따른 원가가 상승하여 수익이 많이 악화되는 현상을 볼 수 있다. 이에 반해 확률적 계획인 4번 모

<Table 4> Execution Result Comparison by Results of Each Scenario for Model II

Case	Cost #1	Cost #2	Sales Price	Profit	Comparison by result		
					Result #1	Result #2	Result #3
CA#1	36,870	4,290	53,600	12,440	12,440	12,440	12,440
CA#2	37,770	13,970	65,800	14,240	2,040↓	14,240	14,240
CA#3	37,770	21,310	74,600	15,520	-5,480↓	6,720↓	15,520
CA#4	37,590	6,810	57,120	12,720	9,920	13,420	13,420

형의 기대이익은 여러 시나리오 가운데 어떠한 수주결과가 발생되더라도 최대 기대이익과 최소 기대이익의 사이에 존재함을 확인할 수 있다.

4.4 가격의 불확실성 : Markowitz의 MV모델 적용

Markowitz[12]는 그의 논문을 통하여 ‘모든 달걀을 한 바구니에 담지 말라’는 격언을 훌륭한 이론으로 증명하였다. 포트폴리오 전체의 리스크에 주목한 그의 생각은 분산투자 전략으로 투자에 대한 리스크를 최소화할 수 있으며, 지금에 이르기까지 금융과 투자의 판도를 지배하는 가장 중요한 이론으로 발전하였다.

중요한 의사결정에 직면하여 기대치에 대한 목적값은 리스크 속성과 객관적인 값의 분포 모두를 무시한다. 따라서 연구모형 III에서 채용한 MV 방법론에서 사용된 랜덤계수에 대한 각각의 분산은 목적함수의 실행가능한 리스크 지표로써 채용할 수 있다. 연구모형 III을 위한 시나리오는 과거데이터에 기초하여 가격에 대한 목적계수의 불확실성으로 적용하였으며, 각 시나리오는 업무/등급별 단가에 따라 ①기대치 혹은 표준가격표로 도출한 현실적인 시나리오인 “평균값”, ②평균값으로부터 10% 상향 편차를 보이는 낙관적인 시나리오인 “평균 이상”, ③ 평균값으로부터 10% 하향 편차를 보이는 비관적인 시나리오인 “평균 이하”의 총 3가지의 모델로 각각 확정적 계획의 계산으로 각각 13,390만 원, 20,510만 원, 7,630만 원의 수익을 산출할 수 있었으며 “평균이하”의 경우 수익성과 관련한 목적함수에 의해 고급기술자 7명에 대한 미할당이 발생되었다.

MV 모델에 대한 각 등급별 계약금액의 확률분포를 구하기 위하여 지난 3년간 매월 계약정보의 평균과 표준편차에 의한 표준정규분포로 각 시나리오인 “평균 이하”와 “평균값”의 중간값 = α 로 α 이하가 될 확률값과, “평균값”과 “평균 이상”의 중간값 = β 를 이용하여 β 이상이 되는 확률값을 구하면 각각 Z값 = 1.24로 0.3925와 Z값 = 0.56으로 0.2123이 된다. 각 분포에 대한 여러 확률 시나리오와 MV 모델을 이용하여 수익성을 계산해 보면 <Table 5>과 결과를 확인할 수 있다.

<Table 5> Execution Result Comparison by Results of Each Scenario for Model III

Probability Scenario			Standard Deviation	Profit	Coefficient of Variation	Shortage
Min	Avg	Max				
0.2	0.6	0.2	4,073.98	13,930	0.2925	0
0.3	0.6	0.1	3,837.43	12,614	0.3042	0
0.3	0.5	0.2	4,499.32	13,272	0.3390	0
0.4	0.5	0.1	4,092.82	11,956	0.3423	0
0.5	0.4	0.1	4,244.17	11,218	0.3783	4
0.4	0.4	0.2	4,806.06	12,614	0.3810	0
0.6	0.3	0.1	4,294.18	10,600	0.4051	4
0.5	0.3	0.2	5,016.01	11,956	0.4195	0
0.6	0.2	0.2	5,142.49	11,258	0.4568	2

기대수익에 비해 변동성이 얼마나 커질지 분석해 보기 위하여 표준편차를 기대수익으로 나누는 변동성계수 (coefficient of variation)를 <Table 5>에 표시하였다. 기대수익을 감안한 상대적인 크기를 보면 “평균 이하”와 “평균 이상”의 확률값의 전체적인 균형을 유지하는 시나리오가 오히려 덜 위험하다고 볼 수 있었다. 판매 및 실행 계획의 리스크를 수익의 변동성을 최소화하는 목적식으로 MV 모델을 적용해보았으며, 예상 수익에 비해 그 변동성이 얼마나 큰지를 보고 리스크를 가늠해볼 수 있었다. 실제 업무에서 미할당이 발생되면 안되기 때문에 표에서는 취소선 표시를 하였으며, 계획 담당자는 본 시뮬레이션 결과를 통하여 계약단가에 대한 목표를 설정해 볼 수 있다.

5. 결 론

위와 같이 컴퓨터를 이용한 계산을 토대로 전체 시나리오가 반영된 확률적 계획을 연구해 봄으로써, 서비스 현장의 계획 담당자들에게 잠재적인 리스크에 대응 가능한 보다 유연한 모델이 존재한다는 것을 제시할 수 있었다.

현재 서비스 기업에서는 판매-실행 계획의 최적화 수립은 거의 고려되지 않고 있으며, 이는 전체의 이익을 극대화 할 수 있는 계획의 수립 방법, 시기, 목적 및 의사결정의 주체가 명확하지 않음을 의미한다. 또한 다양한 불확실성을 고려하지 않고 판매활동을 수행하고 있으므로 결과적으로 잘못된 의사결정이 되는 경우가 종종 발생한다. 특히 소프트웨어 기반 서비스 업체의 경우에는 프로세스의 시작시점인 판매계획 수립이 잘못되는 경우에는 인력 가동률에 직접적인 영향을 끼치어 투입 요청에 대한 적정 인력 미할당의 결과로 고객 가치 제고에 반하는 등 서비스 저하와 직결되는 결정이 된다. 본 연구에서는 서비스 산업에서의 S&OP 도입으로 경영목표 달

성을 위한 프로세스 정립과 불확실성하의 계획과 실행 연계 플랫폼을 제시하여 수익기반의 운영 효율화와 역량 강화를 통하여 판매계획 정확도 향상, 리소스 가동률 향상, 협력사 인력공급 부진 감소, 수주/공급 계획 수립 및 변경 시간 단축 등의 효과를 기대해 본다.

본 연구과제의 주제는 서비스 업계에서의 판매와 실행 간의 균형 그리고 수익성 기반의 사업수주 판단에 대한 의사결정 등 기업 전반적인 경영 패러다임이다. 많은 기업들이 고객 불확실한 수요에 기민하게 대응하면서 “회사의 공급능력과 고객 요구와의 균형”을 맞추기 위한 노력을 해오고 있지만 그럼에도 불구하고 시장 수요는 여전히 예측이 어렵고 계획적중률이 저조한 상황에 있으며, 이에 기업들은 경영의 신 패러다임인 S&OP로의 변화를 수용하고 있으나 정작 기업의 요구하는 진정한 시장지향 S&OP 모델링 기법은 찾아보기 어렵다.

향후, 다양한 불확실성을 해소하기 위하여 확률적 계획 기법을 이용한 판매-실행 계획을 통하여 사업 수주에 대한 의사결정 및 기타 확률기법 연구를 계획하여 본다.

Acknowledgement

This work was supported by Korea Evaluation Institute of Industrial Technology(KEIT) grant funded by the Korea government(MOTIE)(No. 10053204, Development of business intelligence platform service which enables a non-expert to realize “Data Processing and User Interface” within 3 seconds in Petabyte level based on 0.5 billion data).

References

[1] Berman, O., Ganz, Z., and Wagner, J.M., A stochastic optimization model for planning capacity expansion in a service industry under uncertain demand, *Naval Re-*

- search Logistics*, 1994, Vol. 41, No. 4, pp. 545-564.
- [2] Carneiro, M.C., Ribas, G.P., and Hamacher, S., Risk Management in the Oil Supply Chain : A CVaR Approach, *Industry and Engineering Chemistry Research*, 2010, Vol. 49, No. 7, pp. 3286-3294.
- [3] Cook, J., DeBree, K., and Feroletto, A., From raw materials to customers : Supply chain management in the service industry, *SAM Advanced Management Journal*, 2001, Accessed from <http://scholarworks.rit.edu/article/508>.
- [4] Figueiredo, J.N., Mayerle, S.F., and Donato, F.S., Optimal product/customer mix selection as a strategic tool for cross-functional integration, *Journal of Operations and Supply Chain Management*, 2011, Vol. 4, No. 1, pp. 51-70.
- [5] Higle, J.L., Stochastic Programming : Optimization When Uncertainty Matters, *Tutorials in Operation Research*, 2005, pp. 30-53.
- [6] Hwang, S.M. and Song, S.H., Stochastic Sales and Operation Planning by Recourse Model under Demand Uncertainty, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 2013, Vol. 15, No. 1, pp. 31-42.
- [7] Jung, U. and Lee, S.W., Robust newsvendor model with random yield and customer balking, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 2015, Vol. 40, No. 4, pp. 441-451.
- [8] Kim, K.Y., Na, K.S., and Choi, K.D., A Cross-National Comparison of Uncertainty Profile and Software Project Performance, *Autumn academic conference on Korea Society of IT Service*, 2002, pp. 279-285.
- [9] Kim, M.J., National military strategy based on ICT 2015 BIG STEP : The Future Prospect of Bigdata Market, *National Information Society Agency*, 2015, pp. 8-12.
- [10] Lee, J.H., Han, J.H., and Jeong, S.J., A Review of Integrated Supply Chain Decision Models based on the Financial Value, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 2012, Vol. 12, No. 2, pp. 25-46.
- [11] Lee, K.T., Why do small to medium sized software firms stay in strategic partnerships? An empirical investigation of three theoretical perspectives & identification of an emerging theory, [dissertation]. [SAINT LOUIS, USA] : University of Missouri, 2009, 3392679.
- [12] Markowitz, H., Portfolio Selection, *The Journal of Finance*, 1952, Vol. 7, Issue. 1, pp. 77-91.
- [13] Mulvey, J.M., Vanderbei, R.J., and Zenios, S.A., Robust optimization of large-scale systems, *Operation Research*, 1995, Vol. 43, No. 2, pp. 264-281.
- [14] Schlegel, G.L. and Murray, P., Next Generation of S&OP : Scenario Planning with Predictive Analytics & Digital Modeling, *Journal of Business Forecasting*, 2010, Vol. 29, No. 3, p. 20.
- [15] Song, C.Y., TRIZ Analysis to Bullwhip Effect and a Survey on Studies, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2016, Vol. 39, No. 3, pp. 109-117.
- [16] Wang, H. and Olsen, T.L., Service Capacity Competition with Peak Arrivals and Delay Sensitive Customers, Available at <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download>, 2008.
- [17] Watts, T., McNair, C.J., Baard, V., and Polutnik, L., Structural limits of capacity and implications for visibility, *Journal of Accounting and Organizational Change*, 2009, Vol. 5, No. 2, pp. 294-312.

ORCID

Seon Min Hwang | <http://orcid.org/0000-0003-1403-2284>

Sang Hwa Song | <http://orcid.org/0000-0001-6986-6417>