조합경매 설계방법론에 관한 연구

Towards a Combinatorial Auction Design Methodology

최 진 호 (Jin Ho Choi) 한국과학기술원 테크노경영대학원
장 용 식 (Yong Sik Chang) 한신대학교 경상대학 e-비즈니스학과
한 인 구 (Ingoo Han) 한국과학기술원 테크노경영대학원

요 약

기업간 전자상거래에서 조합경매(combinational auction)에 대한 관심이 증가함에 따라 다양한 조합경매 유형이 제시되고 있다. 조합경매의 실용성에 대한 잠재적 중요성을 고려할 때, 다양한 조합경매모델을 지원할 수 있는 통합적이고 체계적인 설계방법이 필요하다. 조합경매 설계에 대한 기존 연구들은 조합경매에 관한 일부 설계요소들에 대해서만 제시하였으며, 부분적인 측면에서 연구가 진행되어 전체적인 관점에서의 설계체계가 제시되지 않았다.

이에 본 연구에서는 조합경매모형에 대한 설계의 토대가 될 수 있는 체계적인 틀을 제시하고자 한다. 설계단계는 크게 아키텍처, 프로토콜, 거래전략 설계 과정으로 이루어진다. 설계과정에서 아키텍처 유형과 프로세스 유형을 분류하고 이들의 조합으로 나타나는 메커니즘 유형을 분류하여 조합경매 모형에 대한 분류체계를 제시하였다. 또한, 거래전략 설계 단계에서는, 거래 당사자들의 다양한 전략을 반영하여 최적의 거래대상을 선정하는 최적화 모형에 기반한 효과적인 조합경매모형 설계방법을 제안하였다. 마지막으로, 본 방법론에 기반하여 새로운 조합경매 모형인 다자간 일반 조합경매 시장에 대한 설계과정을 예시함으로써, 본 방법론의 적용 가능성을 제시하였다.

키워드 : 조합경매, 조합경매 설계방법론, 아키텍처 설계, 프로토콜 설계, 거래전략 설계

Ⅰ. 서 론

조합경매(Combinatorial auctions)는 마켓플레이스(Marketplace)에서 두 개 이상의 복수상품에 대한 조합입찰을 가능하게 함으로써 주목을 받고 있는 경매방식이다. 조합경매가 아닌 전통적인 온라인 경매마켓플레이스를 통해 여러 상품을 구매해야 하는 경우, 입찰자는 각 상품마다 다른 마켓플레이스에서 구매해야 한다. 이 경우, 구매를 못할 가능성도 있다. 이에 새로운 조합경매 방식에 대한 필요성이 꾸준히 제기되어 왔다. 조합경매는 이러한 불확실성의 문제들을 극복하기 위해 사용될 수 있다(Abrache *et al.*, 2004a; Holzman *et al.*, 2004; Park and Rothkopf, 2005; Wurman *et al.*, 2004). 단일상품 경매와 대조적으로 조합경매(복수상품 경매 또는 패키지 경매)는 그들에게 필요한 상품의 일부만 낙찰 받을 수 있는 위험성을 사전에 방지한다. 또한 입찰을 제시하는 데 있어 상보입찰(Complementary bids)이

† 이 논문은 2006년도 한신대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

나 대체입찰(Substitute bids) 등 다양한 입찰 표현 방식을 제공함으로써, 많은 주목을 받아 왔다.

대부분의 문헌에서 제시된 조합경매는 단방향(One-sided) 공급체인 메커니즘이다. 즉 다수의 구매자가 한 판매자에 의해 공급되는 상품에 대해 입찰경쟁하거나, 다수의 판매자들이 구매자들에 대해 판매경쟁을 벌이는 것을 말한다. 한편 다수의 구매자와 판매자들 간의 거래에 대한 조합다중경매(Combinatorial double auction 또는 Combinatorial exchange) 방식에 대한 연구들이 있다(Ba *et al.*, 2001; Babaioff and Walsh, 2005; Fan *et al.*, 1999; Sandholm and Suri, 2003). 조합다중경매는 주식이나 채권 같은 금융상품 교환을 위한 마켓플레이스를 의미한다. 마켓플레이스내 참여자들은 한 마켓플레이스에서 거래상품들에 대해 구매 또는 판매입찰을 동시에 할 수 있다. 조합다중경매의 거래목적은 전체 시장잉여를 극대화 하는 것이다(Xia *et al.*, 2005).

앞의 내용에서 언급된 것처럼, 조합경매는 마켓플레이스 참여자들의 니즈(Needs)를 충족시키기 위해 다양한 메커니즘 형태를 취해왔으며 각 조합경매 유형별로 다양한 아키텍처, 거래규칙, 그리고 프로세스를 가진다. 이러한 상황은 조합경매를 분석, 설계하기 위한 통합적이고 체계적인 접근방식을 필요로 한다. 그 동안 조합경매 설계를 위해 단편적으로 접근한 연구가 있었지만, 전반적인 조합경매 모형 관점에서, 그리고 설계요소들간의 상관관계를 구체화한 통합적이고 체계적인 설계방법을 제시하지는 않았다. 이에 본 연구에서는 조합경매설계를 위한 통합적이고 체계적인 설계방법을 제안하고자 한다. 이는 아키텍처 설계, 프로토콜 설계, 그리고 거래전략 설계의 세 단계로 이뤄져 있다. 특히 이들 세 단계에서 제시된 설계요인들의 다양한 조합에 따라 조합경매 아키텍처 유형, 프로세스 유형, 그리고 메커니즘 유형을 분류하였다. 특히 경매과정에서 다양한 거래전략을 반영하는 판매자와 구매자의 의사결정 모형을 제시하였다. 마지막으로 본 방법론을 통해 새롭게 도출된 다자간 조합경매(n-bilateral combinatorial auction) 메커니즘을 제시하였다.

본 연구에서 제시하는 조합경매 설계방법론을 통해 조합경매마켓플레이스를 결정짓는 설계요소들을 체계적으로 분석할 수 있으며, 설계요소들의 특정 값에 따라 결정되는 조합경매마켓플레이스의 유형에 대한 분류체계의 제시가 가능하다. 또한, 이 방법론은 현실에서 경매마켓플레이스를 분석하고 설계하기 위한 구체적인 도구로서 활용 가능하다.

Ⅱ. 관련 연구

과거 수년 동안 조합경매는 많은 문헌들을 통해 주목을 받아왔다(Hoesel and Müller, 2001; Krishna and Rosenthal, 1996; Rothkopf *et al.*, 1998). 관련 연구로는 승자결정을 위한 최적화 모형에 대한 Operations Research 관련 연구(Ausubel *et al.*, 2004; Park and Rothkopf, 2005; Rothkopf *et al.*, 1998)와 효율적인 알고리즘에 관한 연구(Leyton-Brown *et al.*, 2000; Nisan, 2000; Sandholm, 2002a), 그리고 균형상태의 존재 및 경제학적 효율성과 관련된 경제학 기반 연구(Levin, 1997; Schellhorn, 2004)가 있다. 조합경매 메커니즘들이 다양화됨에 따라 조합경매 설계 이슈에 대한 연구들도 제시되었다 마켓플레이스 메커니즘 설계는 새로운 연구 분야로서(Bichler *et al.*, 2002), 구매자와 판매자들에게 보다 효과적인 거래를 위한 틀을 제공하는 도전적인 연구분야로서 학제적인 연구특성을 내포하고 있다.

Bichler 등(2002)은 조합경매 시장에서의 자원할당 문제를 위한 다양한 설계 요소들을 제시했으며, 특히 자원할당 문제를 결정짓는 주요 요소로서 참여자의 수, 거래상품의 유형을 제시했다. Abrache 등(2004b)도 조합경매 설계과정에서 직면하는 다수 설계이슈들을 제시하였다. 구체적으로 승자결정 문제의 형성, 조합 입찰의 표현,

그리고 주요 조합경매 설계요소와 관련되어 있다. Pekec와 Rothkopf(2003)는 표준경매 방식으로서, 단일라운드(Single-round) 방식, 최우선가격 비공개입찰(First-price sealed bidding) 방식, VCG (Vickrey-Clarke-Groves) 방식, 반복(Iterative) 조합경매 방식등에 대해 제시하였다. 유사한 연구로서 Sandholm 등(2002)은 일반조합경매, 역조합경매, 조합다중경매 등 다양한 조합경매 유형들을 제시하였다. Porter 등(2003)은 연속경매(Continuous auction), 복수라운드경매(Multi-round auction), 연속경매 및 복수라운드 경매를 조합한 혼합(Hybrid) 경매를 제시하였다.

한편, 판매자와 구매자의 거래전략을 반영한 최적화 분배에 관한 연구들도 제시되었다. 조합경매에서의 최적분배문제는 일반적으로 정수계획법(Integer programming) 문제로 표현 가능하다 (Xia *et al.*, 2005). 한 조합경매에서 거래대상 상품에 대한 일련의 입찰들이 제시되었을 때, 경매자의 거래목적은 목적함수의 특성에 따라 경매 목적값이 최대 또는 최소가 되도록 입찰자들에게 상품을 할당하는 것이다. 가장 효율적인 조합경매를 위한 이들 최적화 문제와 관련하여, 최적화 모형 구성에 영향을 주는 다양한 요소들에 대한 연구가 제시되었다.

Bichler 등(2006)의 경우, 역조합경매 상황에서 최대 또는 최소 판매자의 수, 각 판매자로부터 구매하는 최대 또는 최소구매량과 같은 제약조건을 제시하였다. Giovannucci 등(2004)은 최대/최소 거래승인판매자의 수, 공급가용량, 최대/최소 공급수량, 최대/최소 요구수량, 제한입찰가(Reserve price)와 같은 제약조건들을 제시하였다. Abrache 등(2004a)은 조합입찰을 위한 이차원 입찰연산자 기반 표현체계를 제시하였다. 내부 차원의 입찰연산자로는 비율기반 순서연산자, 동일연산자, 심플렉스(Simplex) 연산자 같은 조합연산들 또는 최대/최소 단위입찰 수와 같은 선택연산자를 들 수 있다. 또는 조합연산자 또는 선택연산자의 기능들을 통합한 혼합 연산자가 있다. 반면 외부차원의 입찰 연산자로는 AND, OR, XOR 같은 논리적 연산자를 들 수 있다. 유사한 연구로 Nisan(2000)는 조합경매를 위한 다수의 조합경매 연산자로서 OR, XOR, OR-of-XOR 같은 논리적 입찰 연산자들을 제시하였다.

조합경매마켓플레이스 설계문제에 대해 다수 연구들이 설계와 관련한 일부 요소 및 부분적 차원에 대해 제시하고 있지만, 이들 연구는 조합경매마켓플레이스를 구성하는 일부 설계요소 및 일부 차원의 설계 문제에 대해서만 언급하고 있다. 이에 따라 조합경매 설계를 위한 통합적이고 체계적인 설계 접근 체계를 필요로 한다.

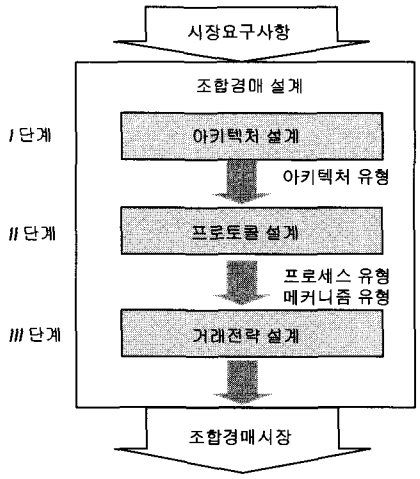
Ⅲ. 조합경매 설계 모형

조합경매마켓플레이스는 구매자와 판매자가 경매자 또는 입찰자로 만나서, 경매규칙에 따라 입찰공고(CFB), 입찰, 그리고 입찰자를 선정하는 마켓플레이스이다. 마켓플레이스 설계 관련 기존 문헌들(Bichler *et al.*, 2002; Bichler and Segev, 2001; Kim and Segev, 2003)에 대한 분석 결과 마켓플레이스는 아래와 같은 요소들을 중심으로 설계되어야 한다.

1. 누가, 어디서, 상호간에 어떤 관계로 만나는가?
2. 어떤 프로세스와 규칙에 따라 거래하는가?
3. 거래과정에서 참여자들의 거래전략은 무엇인가?

첫 번째 요소는 마켓플레이스를 위한 아키텍처를 의미하며, 두 번째 요소는 거래프로세스와 규칙을 위한 거래 프로토콜 관련 요소들을 의미한다. 그리고 세 번째 요소는 마켓플레이스내 각 참여자들의 거래 전략을 다룬다. 이는 조합경매를 위한 3단계 접근방식, 즉 아키텍처 설계, 프로토콜 설계, 그리고 거래전략 설계로 나눠지게 된다. <그림 1>은 이들 3단계에 기반한 조합경매 설계모형을 제시하고 있다. 즉 조합경매를 위한 참여자들의 요구사항은 아키텍처, 프로토콜, 거래 전략 설계 등 3단계에 걸친 순차적 과정을

통해 하나의 구체적인 조합경매 마켓플레이스로 구현된다.



〈그림 1〉 조합경매 설계 모형

Ⅳ. 조합경매 설계

4.1 아키텍처 설계

아키텍처 설계 단계에서는, 마켓플레이스와 마켓플레이스내 참여자를 포함한 전반적인 마켓플레이스 구조를 정의한다. 마켓플레이스 구조를 결정하는 요소로서 마켓플레이스, 마켓플레이스 참여자간 대응 수와 참여자간 관계가 있다.

마켓플레이스는 참여자간 실제 거래가 이뤄지는 e-마켓플레이스를 의미하며, 판매자 마켓플레이스, 중개자 마켓플레이스, 구매자 마켓플레이스가 있다. 판매자 마켓플레이스는 가장 일반적인 기업간 시장이다. 대부분의 제조자 중심 또는 대형 소매업체 기반 e-마켓플레이스가 이 범주에 속한다. 중개자 기반 마켓플레이스는 주로 경매 대행업체에 의해 운영되며, 이들 경매 대행업체가 구매자와 판매자간 거래를 위한 마켓플레이스를 운영한다. 경매 메커니즘을 사용하는 구매자 마켓플레이스는 역경매 방식을 의미한다.

참여자간 대응 수는 판매자와 구매자간의 수적인 대응관계를 의미하며, 크게 1-n, m-1, m-n 등 세가지 유형으로 구분된다. 판매자 중심 마켓플레이스에서는 일반적으로 한 판매자와 다수 구매자가 거래에 참여하게 되며, 반면 구매자 중심의 마켓플레이스에서는 보통 마켓플레이스 운영 주체인 한 대형 구매자와 다수 판매자가 참여하게 된다. 그러나 중개자 중심 마켓플레이스에서는 각각 하나 이상의 판매자와 구매자가 참여할 있다.

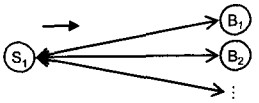
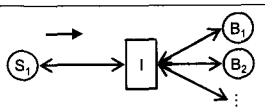
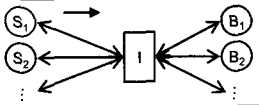
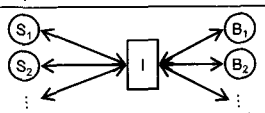
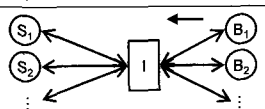
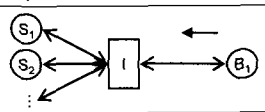
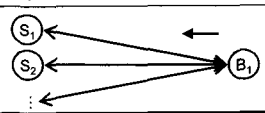
참여자간 관계는 각 마켓플레이스 참여자간의 역할에 의해 결정되며, 크게 경매자-입찰자, 경매자-중개자-입찰자, 입찰자-중개자-입찰자 세가지 유형이 존재한다. 경매자-입찰자 관계는 한 판매자 또는 구매자가 경매자로 참여하는 일반 또는 역조합경매마켓플레이스를 의미한다.

경매자-중개자-입찰자는 중개자의 마켓플레스에서 운영되는 일반 또는 역조합경매를 의미하며 중개자는 조율자(Coordinator)의 역할을 수행한다. 입찰자-경매자-입찰자 관계는 다수의 판매자들과 다수의 구매자들이 중개자 마켓플레이스에서 동시에 입찰자로 참여하는 조합다중경매를 의미한다. 이때 중개자는 경매자의 역할을 수행한다. 이들 설계요소들의 조합에 따라 <표 1>에서 제시된 것처럼 크게 7가지의 차별화된 아키텍처 유형으로 구분 가능하다.

아키텍처 I 은 판매자 마켓플레이스에서 운영되는 일반조합경매마켓플레이스이다. 본 아키텍처에서는 다수의 구매자(입찰자)들은 판매자에 의해 운영되는 마켓플레이스를 방문한다. 구매자들의 입찰을 바탕으로 판매자(경매자)는 최적의 입찰을 선정한다. FCC 주파수 경매(McAfee and McMillan, 1996) 또는 항공이륙장소 경매(Rassenti *et al.*, 1982)가 본 유형에 해당한다. 아키텍처 II는 기본적으로 아키텍처 I 과 동일하나, 주요 차이점은 중개자가 해당 경매 서비스를 제공한다는 점이다. 다수의 구매자들은 중개자의 마켓플레이스를 방문하여 한 판매자에 의해 개설된 경매에 참여하게 된다. TV광고 방송시간

에 대한 판매문제(Jones and Koehler, 2002)가 본 아키텍처 유형에 해당한다. 아키텍처 Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ는 다수의 구매자와 다수의 판매자가 참여하는 마켓플레이스이다. 아키텍처 Ⅲ은 일반적인 다자간 조합경매마켓플레이스로서 본 논문을 통해 새로이 제안된 마켓플레이스 유형이다. 본 마켓플레이스 구조에서는 다수의 판매자는 각각 경매인으로서 참여하며, 다수의 구매자는 입찰자로서 참여한다. 아키텍처 Ⅳ는 전형적인 조합다중경매(Fan *et al.*, 1999; Sandholm, 2002b, Sandholm *et al.*, 2002) 구조로서 마켓플레이스내 참여자들의 총 잉여를 극대화하기 위해 다수의 판매자들과 다수의 구매자들간 매칭에 의해 거래를 성사시키는 조합다중경매를 의미한다. 다수 판매자와 다수 구매자는 마켓플레이스내 교환거래자로서 마켓플레이스에 참여하며, 각 참여자들은 동시에 상품을 사고 팔거나 또는 구매 또는 판매만 할 수 있다. 아키텍처 Ⅴ 또한 본 연구에서 새로 제시된 유형으로서 다수의 구매자는 경매자로서, 다수의 판매자는 입찰자로서 참여하는 다자간 역조합경매를 의미한다. 아키텍처 Ⅲ과 Ⅴ에서는 중개자가 조정자의 역할을 수행한다. 아키텍처 Ⅵ은 중개자의 마켓플레이스에서 개설된 역조합경매이다. 실제사례로는 운송구매(Gomber *et al.*, 1999)와 일용품 구매(Sandholm, 2000)에 적용된 사례들을 들 수 있다. 마지막으로 아키텍처 Ⅶ에서는 구매자의 마켓플레이스에서 거래되는 역조합경매 모형이다. 정부조달구매(Chen *et al.*, 2005) 또는 운송서비스 구매(Hoesel and Müller, 2001)에 활용된 사례들이 본 유형에 해당한다.

〈표 1〉 조합경매 아키텍처 유형

유형	마켓플레이스	참여자간 대응수	참여자간 관계	구 조
Ⅰ	판매자 마켓플레이스	1 판매자-n 구매자	경매자(S)-입찰자(B)	
Ⅱ	중개자 마켓플레이스	1 판매자-n 구매자	경매자(S)-중개자(I)-입찰자(B)	
Ⅲ		m 판매자-n 구매자	경매자(S)-중개자(I)-입찰자(B)	
Ⅳ			입찰자(S)-중개자(I)-입찰자(B)	
Ⅴ			입찰자(S)-중개자(I)-경매자(B)	
Ⅵ		m 판매자-1 구매자	입찰자(S)-중개자(I)-경매자(B)	
Ⅶ	구매자 마켓플레이스	m 판매자-1 구매자	입찰자(S)-경매자(B)	

주) S, I, B는 각각 판매자, 중개자, 구매자를 의미한다.

4.2 프로토콜 설계

프로토콜 설계단계에서는 <표 2>에서 제시된 것처럼 입찰, 입찰자선정, 그리고 경매종료를 위한 규칙들이 저장된다. 프로토콜 설계 요소는 경매자 또는 중개인에 의해 정의된다. 입찰규칙은 경매과정에서 입찰자가 따라야 하는 규칙들을 의미한다. 주요 요소로서 각 상품당 거래수량, 입찰 유형, 라운드 유형, 각 입찰자당 최대 입찰 라운드 수, 각 입찰자당 최대 입찰 가능 라운드 수, 입찰자당 각 라운드에서의 최대 입찰 수 등을 들 수 있다. 각 상품당 거래수량은 단일 또는 다수로 구분 가능하다. 입찰자선정 규칙은 입찰자를 선정하는 방식을 의미한다. 주요 설계요소로서 입찰자 선정 시점을 들 수 있으며, 주요 대안으로 라운드단위 선정 또는 입찰단위 선정 방식으로 구분 가능하다. 즉 최적입찰자 선정이 각 라운드 종료시점에서 이뤄지거나, 새로운 입찰이 들어올 때마다 이뤄질 수 있다. 마지막으로 거래종료 규칙은 경매과정의 최종종료조건에 대한 규칙을 의미하며, 크게 세 가지로 구분 가능하다. 즉 새로운 입찰이 더 이상 없을 경우, 기 정의된 종료라운드에 도달하거나, 경매자 또는 중개자가 기 정의한 목적에 도달된 경우이다.

〈표 2〉 조합경매 프로토콜 설계 요소

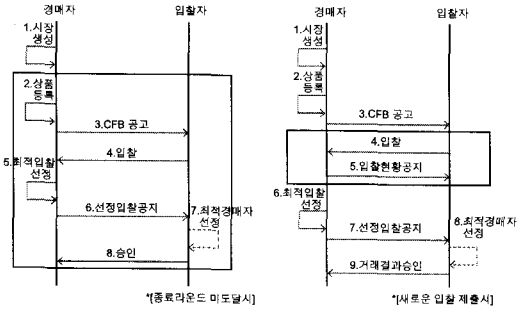
구분	요소	대안
입찰 규칙	상품당 거래수량	단일
		다수
	입찰 유형	동시 입찰
		연속 입찰
	라운드 유형	단일 라운드
		복수 라운드
	입찰자당 최대 입찰 라운드 수	라운드 수
	입찰자당 최대 입찰 수	입찰 수
	입찰자당 각 라운드별 최대 입찰 수	입찰 수
입찰자 선정 규칙	입찰자 선정 시점	라운드단위
		입찰단위
경매종료 규칙	종료 조건	새 입찰 제시 안됨
		기 정의된 종료 라운드 도달시
		기 정의된 목적 도달시

기본적인 프로세스 유형은 프로토콜 설계 요소들 중 프로세스 구분에 직접적으로 영향을 미치는 요소들에 의해 결정된다. 이들 요소는 입찰 유형, 입찰자 선정 시점이며, <표 3>에서 제시된 것처럼 이들 변수들간의 조합에 의해 크게 3가지의 프로세스로 구분된다.

〈표 3〉 조합경매 프로세스 유형

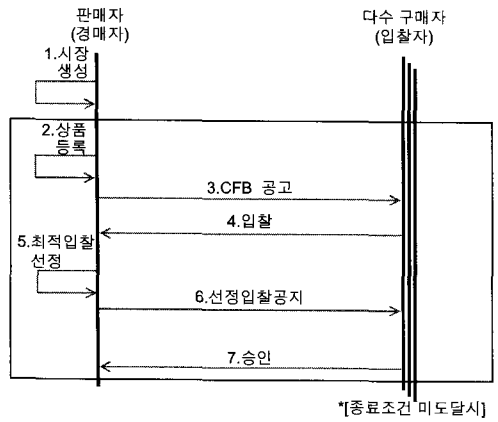
유형	프로세스 구분 요소	
	입찰 유형	입찰자 선정 시점
Ⅰ	동시 입찰	라운드 단위
Ⅱ	연속 입찰	라운드 단위
Ⅲ		입찰 단위

그 중 프로세스 유형 Ⅰ과 Ⅱ를 <그림 2>에 제시하였다. 프로세스 Ⅰ은 라운드단위로 동시입찰이 이뤄지는 프로세스이다. 이때 최적입찰 선정은 각 라운드 종료 시점에 이뤄진다. 프로세스 Ⅱ의 경우, 입찰자들은 각 라운드 내에서 공개 또는 비공개 방식으로 연속적으로 입찰을 하게 되며, 최적입찰자 선정은 라운드의 종료시점에 이뤄진다. 프로세스 Ⅲ의 경우는 전반적인 프로세스는 프로세스 Ⅱ와 유사하나, 각 라운드 내에서 새로운 입찰이 들어올 때마다 입찰자 선정이 이뤄진다는 점에서 차이가 있다. 일반적인 경매의 경우 경매자는 하나이지만 본 논문에서 새로이 제시한 다자간 경매의 경우 경매자가 다수일 수 있다. 따라서 최적경매자 선정 과정은 다수의 경매자가 존재할 때 이뤄진다.

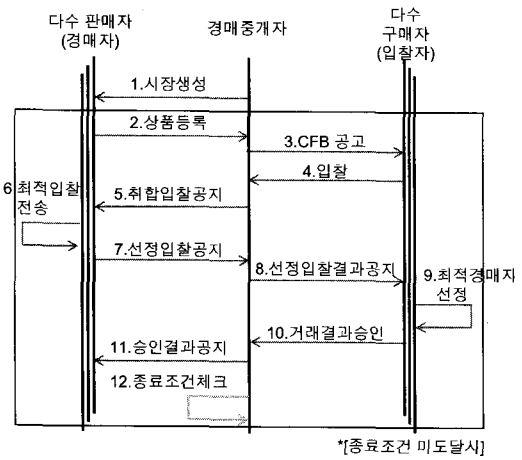


(1) 프로세스 I (2) 프로세스 II

〈그림 2〉 조합경매 프로세스 유형



(1) 판매자 마켓플레이스내 동시입찰 기반 일반조합경매



(2) 중개자 마켓플레이스내 동시입찰 기반 다자간 일반조합경매

〈그림 3〉 메커니즘 유형 예시

특정 조합경매 메커니즘 유형은 아키텍처 유형과 프로세스 유형의 조합에 의해 결정된다. 따라서 총 7가지의 아키텍처 유형과 3가지의 기본적인 프로세스 유형의 조합에 의한 총 21가지의 조합경매 메커니즘이 결정된다. <그림 3>에 일부 메커니즘 유형을 제시하였다. <그림 3>(1)는 아키텍처 유형 I과 프로세스 유형 I의 조합에 의해 정의된 판매자 마켓플레이스내 동시입찰 기반 일반조합경매 메커니즘이며, <그림 3>(2)는 아키텍처 유형 III과 프로세스 유형 II의 조합에 의한 중개자 마켓플레이스에서의 다자간 일반조합경매 메커니즘이다.

4.3 거래전략 설계

4.3.1 입찰전략

거래전략 설계단계에서는, 입찰, 입찰자 선정, 그리고 경매자 선정 전략이 정의된다. 조합경매를 위한 첫 과정으로, 입찰자는 입찰전략을 명시한다. 입찰전략은 입찰상품에 대해 입찰 요구사항을 정의하는 것이다. 내부적인 입찰전략에 기반한 입찰 요구사항은 입찰상품, 수량, 입찰가, 입찰선정 요구사항에 관한 입찰들로 구성되어 있다.

입찰선정 요구사항은 *AND, OR, XOR, PRIORITY, IF-THEN*와 같은 입찰선정 연산자들로 표현될 수 있다. 식 (1)~(4)는 입찰자로부터의 입찰요구사항을 표현한 것이다. β_i, β_j, β_k는 단위입찰을 의미한다.

입찰요구사항
= ({단위입찰}, {입찰선정 요구사항}), (1)
단위입찰 = (입찰상품, 수량, 단위입찰가) (2)
입찰선정 요구사항 = 입찰선정 연산자$\{\beta_i\}$ (3)

또는

입찰선정 요구사항
= 입찰선정 연산자($\{\beta_j\}$, β_k]) (4)

입찰선정 요구사항이 없는 모든 입찰은 기본적으로 *OR* 조건으로 해석되며, 입찰자는 그들의 전략에 따라 식 (3) 또는 식 (4)와 같은 입찰선정 요구사항을 추가한다. *AND*, *XOR*, 그리고 *PRIORITY* 연산자는 식 (3), 그리고 *IF-THEN* 연산자는 식 (4)에 따른다. *AND*는 한 입찰자가 입찰한 모든 단위입찰들이 선정되어야 거래가 이뤄지며, *OR*은 적어도 한 단위입찰만 선정되어도 거래가 승인됨을 뜻한다. *XOR*은 한 입찰자에 의해 제시된 모든 단위입찰들 중 한 단위입찰만이 선정되어야 함을 의미한다. *PRIORITY*는 선정될 단위입찰간 선정 우선순위를 의미한다. *IF-THEN*는 한 단위입찰 $\{\beta_j\}$이 선정되면 다른 단위입찰 $\{\beta_k\}$도 선정되어야 함을 의미한다.

4.3.2 입찰자 선정전략

각 경매자는 다음 단계로 입찰자 선정전략을 정한다.

〈표 4〉 입찰자 선정요인(경매자가 판매자인 경우)

선정요인		대 안
내부 전략	목적함수	매출 최대화
		이윤 최대화
	입찰할당 제약조건	선정된 입찰자의 최대 수
		선정된 입찰자의 최소 수
		선정 가능한 최대 단위입찰 수
		선정 가능한 최소 단위입찰 수
		입찰자당 최대 할당 가능 수량
		입찰자당 최소 할당 가능 수량
	가격제약 조건	선정 가능한 최소 단위입찰가격
	자원제약 조건	공급가용량
외부 전략	입찰선정 제약조건	AND(β_i)
		OR(β_i)
		XOR(β_i)
		PRIORITY(β_i)
		IF-THEN(β_j, β_k)

<표 4>는 경매자가 판매자인 경우의 입찰자 선정전략을 나타낸 것이다. 입찰자 선정전략은 경매자의 내부적인 전략과 입찰자에 의해 영향을 받는 외부적인 전략이 있다. 본 연구에서는 내부적인 전략이 하나의 목적함수와 여러 개의 제약조건으로 이루어짐을 가정한다. 경매자가 판매자인 일반조합경매의 경우, 경매자의 목적함수로는 매출 최대화 또는 이윤 최대화 등이 있다.

제약조건들은 크게 두 가지로 분류된다. 하나는 경매자의 내부적인 거래전략에 따라 정해지는 내부적인 제약조건이고, 다른 하나는 입찰자의 입찰선정 요구사항에 따라 정해지는 외부적인 제약조건이다. 입찰할당, 가격제약, 자원제약 등은 내부적인 제약조건이다. 이에 비해, 입찰자의 입찰선정 요구사항에 의한 입찰선정 제약조건은 입찰자에 의해 영향을 받는 외부적인 제약조건이라 볼 수 있다.

식 (5)는 입찰자 선정모형을 의미론적으로 표현한 것이다.

$$\text{입찰자 선정모형} = (\text{목적함수}(G_i), \text{제약조건}\{C_j, D_k\}) \quad (5)$$

의미론적인 모형은 다음과 같은 모형인식규칙에 의해 인식된다.

IF 내부전략(G_i) *THEN* 목적함수(G_i),
IF 내부전략(C_j) *THEN* 제약조건(C_j),
IF 외부전략(입찰선정요구사항(d_k)
THEN 제약조건(D_k).

4.3.3 경매자 선정전략

조합경매의 세 번째 단계는 최적경매자를 선정하는 것이다. 입찰자의 경매자 선정전략은 다수의 경매자에 의해 선정된 단위입찰들 중에 최적 단위입찰을 선정하는 것이다. 최적경매자 선정과정은 다수 경매자와 다수 입찰자들이 참여하는 다자간 조합경매에서 필요하다.

경매자 선정모형의 목적함수와 제약조건들은

모두 입찰자에 의해 정해지는 내부적인 것이다. 입찰자의 목적은 다수 경매자로부터 중복 선정된 여러 입찰 들 중에서 최적 입찰을 선정하는 것이다. <표 5>는 입찰자가 구매자인 경우에 해당하는 다자간 조합경매의 예로서, 구매자의 목적함수는 총 구매효용 최대화가 있고, 제약조건으로는 입찰할당, 비용, 입찰선정 제약조건 등이 있다. 경매자 선정모형은 기본적으로 입찰자 선정모형과 유사한 형태를 가진다.

〈표 5〉 경매자 선정요인(입찰자가 구매자인 경우)

선정요인		대 안
내부 전략	목적함수	구매효용 최대화
	할당제약 조건	선정된 판매자의 최대수
		선정된 판매자의 최소수
		선정 가능한 단위입찰의 최대수
		선정 가능한 단위입찰의 최소수
		판매자당 할당 가능한 최대단위
		판매자당 할당 가능한 최소단위
	비용제약 조건	최대 단위입찰가격
		예산
	입찰선정 제약조건	AND(β_i)
		OR(β_i)
		XOR(β_i)
		PRIORITY(β_i)
		IF-THEN(β_j, β_k)

V. 다자간 조합경매마켓플레이스 설계의 예

본 장에서는 경매중개자를 중심으로 다수 경매자와 입찰자가 참여하는 다자간 조합경매마켓플레이스의 예시를 통하여 본 연구의 설계방법론에 대한 유용성을 보이고자 한다. 아키텍처와 프로토콜 설계에 적용한 요인들의 값들은 <표 6>에 표시하였다.

아키텍처 설계단계에서, 경매중개자가 다수 경매자와 입찰자가 참여할 수 있는 다자간 조합경매마켓플레이스를 연다. 이것은 아키텍쳐 유형 Ⅲ에 해당한다. 프로토콜 설계단계에서는, 경매중개자가 입찰, 입찰자 선정, 그리고 경매완료에 관한 규칙을 명시한다. 본 연구에서는 상품당 다수개의 거래수량, 연속비공개 입찰, 복수 라운드로 설정하였으며, 입찰자당 최대 입찰 라운드 수, 최대 입찰 수, 입찰자당 각 라운드별 최대 입찰 수는 모두 제한없음으로 가정하였다. 또한 입찰자 선정 시점은 각 라운드별 종료시점으로 하였다. 따라서 경매프로세스의 경우 유형 Ⅱ에 해당한다. 마지막으로 경매종료 조건으로서 기 정의된 종료 라운드를 설정하고 특정 라운드를 지정한다. 위의 과정을 거쳐 정의된 마켓플레이스는 중개자 마켓플레이스내 동시입찰 기반 다자간 일반조합경매 메커니즘에 해당한다.

〈표 6〉 아키텍처와 프로토콜 설계의 예

단계	요 인		값
아키텍처 설계	마켓플레이스		중개자 마켓플레이스
	참여자 대응수		m 판매자-n 구매자
	참여자간 관계		경매자(S)-중개자(I)-입찰자(B)
프로토콜 설계	입찰규칙	상품당 거래수량	다수
		입찰 유형	연속 비공개
		라운드 유형	복수 라운드
		입찰자당 최대 입찰 라운드 수	제한없음
		입찰자당 최대 입찰 수	제한없음
		입찰자당 각 라운드별 최대 입찰 수	제한없음
	입찰자 선정규칙	입찰자 선정 시점	라운드 단위
	경매종료 규칙	경매종료조건	기정의된 종료 라운드

앞의 두 단계가 경매중개자에 의해 명시된 후에 아키텍처와 프로토콜 설계정보가 판매자와 구매자에게 전달되면, 각 판매자와 구매자들은 그들의 거래전략을 명시한다. 경매자 선정모형은 입찰자 선정모형과 유사하기 때문에 본 연구에서는 입찰자 선정모형만을 예시하도록 한다. 그리고, 문제를 간단히 하기 위하여 입찰자의 입찰요구사항으로 *XOR* 조건만을 사용하기로 한다. 경매자는 입찰자 선정전략을 위해 목적함수로는 매출 최대화를 정의하였으며, 제약조건으로는 선정된 구매자의 최대 수, 구매자당 최대 할당 가능 수량, 선정 가능한 최소 단위입찰 가격 및 공급가능수량을 정의하였다. 제약조건에는 입찰자의 입찰선정 요구사항에 의해 외부적으로 발생하는 *XOR*{*단위입찰*} 제약조건이 추가된다.

거래전략설계 내용은 식 (6)과 같은 입찰자 선정모형에 반영된다.

입찰자선정모형 =
  (목적함수(매출 최대화);
  제약함수{선정된 구매자의 최대 수,
    구매자당 최대 할당 가능 수량,
    선정 가능한 최소 단위입찰 가격,
    최소 단위입찰 가격,
    공급가능수량,
    XOR{단위입찰}}). (6)

모형인식규칙에 의해 인식된 의미론적인 모형은 다음과 같이 입찰자 선정을 위한 최적화 정수모형으로 나타낼 수 있다.

$$\max \sum_{i=1}^{l} \sum_{j=1}^{m[i]} \sum_{k=1}^{n} Q_{ijk}\, U_{ijk}\, X_{ij} \qquad (7)$$

s.t.

$$\text{if } \sum_{j=1}^{m[i]} Q_{ijk}\, X_{ij} \geq 0, \text{ then } Y_{ik} = 1, \quad \text{else } Y_{ik} = 0 \text{ for all } i,\ k, \qquad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{l} Y_{ik} \leq N_{max,k} \quad \text{for all } k, \qquad (9)$$

$$\sum_{j=1}^{m[i]} Q_{ijk}\, X_{ij} \geq D_{min,k} \quad \text{for all } i,\ k, \qquad (10)$$

$$\sum_{j=1}^{m[i]} \sum_{i=1}^{v} Q_{ijk}\, X_{ij} \leq C_k \quad \text{for all } k, \qquad (11)$$

$$\text{if } Q_{ijk}\, X_{ij} > 0 \quad \text{then } U_{ijk}\, X_{ij} > R_k \quad \text{for all } i,\ j,\ k, \qquad (12)$$

$$\sum_{j=1}^{m[i]} X_{ij} \leq 1 \quad \text{for all } i, \qquad (13)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \text{for all } i,\ j, \qquad (14)$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \text{for all } i,\ j, \qquad (15)$$

위의 입찰자선정 최적화모형에 사용되는 표기법은 다음과 같다.

X_{ij} : 단위입찰 j가 구매자 i에 할당될 경우 1, 그렇지 않으면 0;
Y_{ik} : 상품 k가 구매자 i에 판매되면 1, 그렇지 않으면 0;
$m[i]$: 구매자 i에 의해 구매된 상품;
Q_{ijk} : 구매자 i의 단위입찰 j내의 상품 k의 입찰수량;
U_{ijk} : 구매자 i의 단위입찰 j내의 상품 k의 단위입찰단가;
C_k : 판매자의 상품 k의 재고;
$N_{max,k}$: 판매자의 상품 k에 대해 할당 가능한 구매자의 최대수;
$D_{min,k}$: 상품 k에 대한 구매자당 최소 판매수량;
R_k : 상품 k에 대한 제한 입찰단가.

목적함수식 (7)은 매출액 최대화를 나타낸다. 제약조건식 (8)과 (9)는 각 상품별 선정된 구매자의 최대 수에 관한 제약식이며, 제약식 (10)은 각 특정 상품에 대한 각 구매자별 최소 할당수량에 관한 제약을, 식 (11)은 공급가능수량에 관한 제약을, 식 (12)는 각 상품당 제한 단위입찰가에 관한 제약을, 식 (13)은 *XOR* 제약을 나타낸

다. 제약조건 식 (14)와 식 (15)는 의사결정변수의 이진조건으로 입찰자 선정모형을 위한 필수조건이다.

Ⅵ. 결 론

본 연구는 조합경매설계 방법론에 대한 통합적이며 체계적인 프레임웍을 제시하였다. 이 방법론은 아키텍처 설계, 프로토콜 설계, 거래전략 설계의 세 가지 단계로 구성되는데, 이 접근 방법은 다양한 조합경매마켓플레이스를 설계하기 위한 유연하고 확장 가능한 프레임웍이다.

특히, 본 연구의 실질적 유용성을 보이기 위하여 제안한 방법론에 따른 다자간 조합경매마켓플레이스의 예를 제시하였다.

제안한 설계방법론은 설계요소의 값들에 따라 서로 다른 조합경매모형을 분류하는데 도움을 준다. 또한, 이 방법론은 마켓플레이스를 개설하고자 하는 마켓플레이스 운영자들에게 단계별 접근을 통하여 마켓플레이스 설계를 효과적으로 지원하기 때문에 실질적으로 유용한 도구로 활용될 수 있다.

본 논문에서 여러 조합경매 모형을 지원하는 포괄적인 설계방법론을 제시하였지만, 향후 본 연구의 프레임웍을 응용하여 각 조합경매 마켓플레이스의 실질적 구현에 관한 접근이 필요하다.

참 고 문 헌

Abrache, J., B. Bourbeau, G. T. Crainic, and M. Gendreau, "A new bidding framework for combinatorial e-auctions", *Computers & Operations Research*, Vol.31, No.8, 2004a, pp. 177-1203.

Abrache, J., T. G. Crainic, and M. Gendreau, "Design issues for combinatorial auctions", *4OR*, Vol.2, No.1, 2004b, pp. 1-33.

Ausubel, L. M., P. Cramton, and P. Milgrom, The Clock-Proxy Auction: A Practical Combinatorial Auction Design. In P. Cramton; Y. Shoham; and R. Steinberd (1st ed.), *Combinatorial Auctions*, MIT Press, 2006.

Ba, S., J. Stallaert, and A. B. Whinston, "Optimal Investment in Knowledge Within a Firm Using a Market Mechanism", *Management Science*, Vol.47, No.9, 2001, pp. 1203-1219.

Babaioff, M. and W. E. Walsh, "Incentive-compatible, budget-balanced, yet highly efficient auctions for supply chain formation", *Decision Support Systems*, Vol.39, No.1, 2005, pp. 123-149.

Bichler, M., A. Davenport, G. Hohner, and J. Kalagnanam, Industrial Procurement Auctions. In P. Cramton; Y. Shoham; and R. Steinberd (1st ed.), *Combinatorial Auctions*, MIT Press, 2006.

Bichler, M., J. Kalagnanam, H. S. Lee, and J. Lee, "Winner Determination Algorithms for Electronic Auctions: A Framework Design", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.2455, 2002, pp. 37-46.

Bichler, M. and A. Segev, "Methodologies for the design of negotiation protocols on E-markets", *Computer Networks*, Vol.37, No.2, 2001, pp. 137-152.

Chen, J., H. Huang, and R. J. Kauffman, "A multi-attribute combinatorial auction approach to electronic procurement mechanism design", Available at http://misrc.umn.edu/workingpapers/fullpapers/full-papers/2005/0508_032805.pdf, 2005.

Fan, M., J. Stallaert, and A. B. Whinston, "The Design and Development of a Financial Cybermarket with a Bundle Trading Mechanism", *International Journal of Electronic Commerce*, Vol.4, No.1, 1999, pp. 5-22.

Giovannucci, A., J. A. Rodriguez-Aguilar, A. Reyes, F. X. Noria, and J. Cerquides, "Towards automated procurement via agent-aware negotiation support", *Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 2004, pp. 244-251.

Gomber, P., C. Schmidt, and C. Weinhardt, "Efficiency, incentives and computational tractability in MAS-coordination", *International Journal of Cooperative Information Systems*, Vol.8, No.1, 1999, pp. 1-14.

Hoesel, S. V. and R. Müller, "Optimization in electronic markets: examples in combinatorial auctions", *Netnomics: Economic Research and Electronic Networking*, Vol.3, No.1, 2001, pp. 23-33.

Holzman, R., N. Kfir-Dahav, D. Monderer, and M. Tennenholtz, "Bundling equilibrium in combinatorial auctions", *Games and Economic Behavior*, Vol.47, No.1, 2004, pp. 104-123.

Jones, J. L. and G. J. Koehler, "Combinatorial auctions using rule-based bids", *Decision Support Systems*, Vol.34, No.1, 2002, pp. 59-74.

Kim, J. B. and A. Segev, "A framework for dynamic eBusiness negotiation processes", *IEEE International Conference on E-Commerce*, 2003, pp. 84-91.

Krishna, V. and R. W. Rosenthal, "Simultaneous Auctions with Synergies", *Games and Economic Behavior*, Vol.17, No.1, 1996, pp. 1-31.

Levin, J., "An optimal auction for complements", *Games and Economic Behavior*, Vol.18, 1997, pp. 176-192.

Leyton-Brown, K., M. Pearson, and Y. Shoham, "Towards a Universal Test Suite for Combinatorial Auction Algorithms", *Proceedings of the ACM Conference on Electronic Commerce.* New York: ACM Press, 2000, pp. 66-76.

McAfee, R. P. and J. McMillan, "Analyzing the Airwaves Auction", The *Journal of Economic Perspectives*, Vol.10, No.1, 1996, pp. 159-176.

Nisan, N., "Bidding and Allocation in Combinatorial Auctions", *Electronic Commerce*, 2000, pp. 1-12.

Park, S. J. and M. H. Rothkopf, "Auctions with bidder-determined allowable combinations", *European Journal of Operational Research*, 161, 2005, pp. 399-415.

Pekec, A. and M. H. Rothkopf, "Combinatorial Auction Design", *Management Science*, Vol. 49, No.11, 2003, pp. 1485-1503.

Porter, D., S. Rassenti, V. Smith, and A. Roopnarine, "Combinatorial auction design", Available at http://www.ices-gmu.org/pdf/materials/419.pdf, 2003.

Rassenti, S. J., V. L. Simth, and R. L. Bulfin, "A combinatorial auction mechanism for airport item slot allocation", *Bell Journal of Economics.* Vol.12, No.2, 1982, pp. 402-417.

Rothkopf, M. H., A. Pekec, and R. M. Harstad, "Computationally manageable combinational auctions", *Management Science*, Vol.44, No.8, 1998, pp. 1131-1147.

Sandholm, T., "Algorithm for optimal winner determination in combinatorial auctions", *Artificial Intelligence*, Vol.135, No.1/2, 2002a, pp. 1-54.

Sandholm, T., "Approaches to winner determination in combinatorial auctions", *Decision Support Systems*, Vol.28, No.1/2, 2000, pp. 165-176.

Sandholm, T. eMediator: "A Next Generation Electronic Commerce Server", *Computational Intelligence*, Vol.18, No.4, 2002b, pp. 656-676.

Sandholm, T. and S. Suri, "BOB: Improved winner determination in combinatorial auctions and generalizations", *Artificial Intelligence*, Vol.145,

No.1/2, 2003, pp. 33-58.

Sandholm, T., S. Suri, A. Gilpin, and D. Levine, "Winner Determination in Combinatorial Auction Generalizations", *Proceedings of the First Int'l Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, New York: ACM Press, 2002, pp. 69-76.

Schellhorn, H. A., "Double-Sided Multiunit Com binatorial Auction for Substitutes: Theory and Algorithms", Available at http://www.hec.unil.ch/hsche-llhorn /20040723auctions.pdf, 2004.

Wurman, P. R., J. Zhong, and G. Cai, "Computing price trajectories in combinatorial auctions with proxy bidding", *Electronic Commerce Research and Applications*, Vol.3, No.4, 2004, pp. 329-340.

Xia, M., J. Stallaert, and A. B. Whinston, "Solving the combinatorial double auction problem", *European Journal of Operational Research*, Vol.164, No.1, 2005, pp. 239-251.

Information Systems Review
Volume 8 Number 2
August 2006

Towards a Combinatorial Auction Design Methodology

Jin Ho Choi* · Yong Sik Chang** · Ingoo Han*

Abstract

As the interest in the combinatorial auction has increased, diverse combinatorial auction market types have been proposed. Although there have been several studies on the combinatorial auction design, the studies covered some factors or partial dimensions of combinatorial auction design. Given the potential practical value of combinatorial auctions, it is necessary to approach it with an integrated and systematic design methodology for supporting a comprehensive range of combinatorial auction models. Thus, we present a systematic framework for combinatorial auction design methodology. In particular, we classified the combinatorial auction architecture types, process types, and mechanism types. This framework characterizes the different combinatorial auction models, and lead to a useful taxonomy of the combinatorial auction design factors and taxonomy of the market types by coordination among the design factors. In addition, we illustrate an n-bilateral combinatorial auction market, derived from our design methodology, to show the viability of our study.

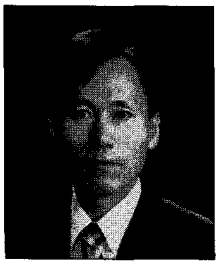
Keywords: Combinatorial Auction, Combinatorial Auction Design Methodology, Architecture Design, Protocol Design, Trading Strategy Design

* Graduate School of Management, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)
** Department of e-Business, Hanshin University

◐ 저 자 소 개 ◑

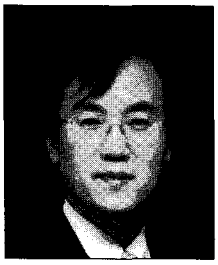
최 진 호 (jhchoi@kgsm.kaist.ac.kr)

현재 한국과학기술원 테크노경영대학원 경영공학과 박사과정에 재학 중이다. 한국과학기술원 학사과정에서 산업경영과 산업디자인을 전공하고, 테크노경영대학원에서 경영공학 석사를 취득하였다. LG CNS 컨설팅 부문인 엔트루 컨설팅 파트너즈 등에서 근무하였으며, 전자상거래 및 정보시스템 관련 다수의 경영컨설팅 및 시스템 개발 프로젝트를 수행하였다. 주요 연구 관심분야는 기업간 전자상거래, 경매, BPM, 데이터마이닝 등이다.



장 용 식 (yschang@hs.ac.kr)

현재 한신대학교 경상대학 e-비즈니스학과 조교수로 재직중이다. 서강대학교와 포항공과대학교에서 물리학을 전공하여 학사와 석사학위를 받고, 한국과학기술원에서 경영공학을 전공하여 공학박사학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 지능형정보시스템과 의사결정모형관리 등이다. 포스데이타(주) 등 다수 산업체에서 MIS를, 그리고 (사)국제전자상거래연구센터에서 전자상거래시스템에 관한 컨설팅 및 연구개발을 수행하였고, 전자상거래 관련 저서를 공동으로 집필하였다.



한 인 구 (ighan@kgsm.kaist.ac.kr)

현재 한국과학기술원 테크노경영대학원 교수로 재직 중이다. 서울대학교 국제경제학사, KAIST 경영과학석사를 취득하였고, University of Illinois at Urbana-Champaign에서 회계정보시스템을 전공하여 경영학박사를 취득하였다. 주요 관심분야는 지능형 신용평가시스템, 인공지능을 이용한 재무예측, 지식자산 가치평가, 정보시스템 감사 및 보안 등이다.

논문접수일 : 2006년 2월 2일 **게재확정일 : 2006년 7월 20일**
1차 수정일 : 2006년 3월 24일