

論文

게임이론을 응용한 최적 작전운용성능(ROC)과 국방획득 입찰에 관한 연구

김성남*, 변정욱**

Game Theoretic Analysis of Optimal ROC and Bidding for Defense Acquisition

Sung Nam Kim*, Jeong Wook Byun**

ABSTRACT

We study the government's optimal Required Operational Capability(ROC) choice and the firms' bidding strategy in competitive defense acquisition project. In the first stage, the government proposes the level of ROC, and in the second stage, defense companies who observed the ROC level decide the bidding price for the project, and the lowest bidder wins the bid. The main result is that the higher the ROC, the higher the equilibrium bids of defense companies and the higher the expected bid price. In addition, the more difficult ROC achievement is, the higher the equilibrium bids of defense companies and the higher the expected bid price. If the government's utility of a defense acquisition with ROC level R is concave and increasing in R , and the bidders' cost is convex and increasing in R , there exist an optimal ROC level which maximizes government's utility net of the expected equilibrium bidding price and decreases in the difficulty of achieving the ROC level. Therefore, the optimal ROC level should be set by considering not only the operational capability but also the bidders' costs and the bidding strategies of the bidders.

초 록

본 연구의 목적은 게임이론을 응용하여 무기체계 획득사업에 대한 정부의 최적 작전운용성능(ROC) 설정과 그에 따른 방산업체의 입찰전략을 분석하는 것이다. 이를 위해 1기에 정부가 작전운용성능을 제시하면, 2기에 방산업체들이 입찰가를 제시하고, 그중 가장 낮은 입찰가를 제시한 업체가 낙찰되는 2단계 경쟁입찰을 설정하여 분석한다. 주요 결과는, 방산업체의 입찰가 전략은 정부가 제시한 ROC에 비례하여 증가하며, 따라서 균형 낙찰가도 ROC에 비례하여 증가한다. 무기체계 획득에 따른 정부의 효용함수가 ROC에 대해 오목한 증가함수이고, 해당 ROC를 제공하기 위한 방산업체의 비용이 ROC에 대해 볼록한 증가함수이면 정부의 직접적 효용에서 기대 낙찰가를 뺀 정부의 순효용을 극대화하는 최적 ROC가 존재하며, 이는 ROC 달성의 난이도에 반비례한다. 따라서 최적 ROC는 요구되는 작전운영성능뿐만 아니라 방산업체의 비용과 입찰전략 등도 고려하여 설정될 필요가 있다.

Key Words : Defense acquisition(국방획득), Required Operational Capability(작전운용성능), competitive bidding(경쟁입찰), Game Theory(게임이론)

논문접수:

논문확정:

* 육군3사관학교, 육군 대위. 본 논문은 저자의 석사학위논문을 보완, 발전시킨 것임을 밝힌다.

**교신저자(Corresponding author) 국방대학교 국방관리학과 부교수. E-mail : jwbyun68@hanmail.net

<http://journal.kadis.or.kr/>

ISSN 1738-6144

I. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

대한민국의 방위산업은 1970년대 초 자주국방을 기치로 걸고 각종 무기체계의 개발에 나선지 40여년 만에 외형적으로 크게 성장했다. 자주국방을 뛰어넘어, 해외 수출도 이루어져 2006년 2억5000만 달러에서 2014년에는 36억1000만 달러로 역대 최고치를 달성하였다. 하지만 최근 국내 방위산업은 각종 문제로 인해 사업에 차질을 빚고 있다. 특히 국회 예산정책처(2016)의 결산자료에 의하면 국방부는 획득사업 예산 4402억2700만원 중 444억2900만원을 이월하고, 79억5000만원을 불용했으며, 이 가운데 방산업체의 과실로 이월된 장비획득 사업 규모는 126억6900만원(28.5%)이다. 이러한 문제의 원인 중 한 가지는 획득사업은 기본적으로 일반경쟁으로 실시하며, '중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법'¹⁾에 따라 중소기업자와 우선적으로 계약을 추진하고 있는 상황에서 일반경쟁을 통해 무리한 저가 입찰로 선정된다는 점에 기인한다. 저가로 입찰에 선정된 업체는 군수품의 특성을 제대로 이해하지 못하고 계약 후에야 기술력 부족을 인지하여 사업이 부실화되어, 군 전력화에 차질을 빚을 수 있다. 그런 점에서 업체 선정단계에서부터 보다 철저한 검증으로 문제점을 보완한다면 무리한 저가 입찰, 저품질화, 사업의 부실화 방지에 기여할 수 있을 것이다.

우리나라 방위산업은 기술적인 측면에서 세계적인 방산 선진국으로 비약하였으나, K2 전차 사업의 예에서와 같이 기술력과 관련된 문제가 여전히 숙제로 남아 있다. 현재 진행형인 'K2 흑표' 전차 사업은 파워팩 개발능력 부족으로 사업이 지연되고 있다. 최초 1992년 소요결정을 시작으로 2003년 국내개발에 착수하여 2009년을 목표로 개발완료를 결정하였으나, 2009년부터 2년간의 시험평가기간 동안 냉각팬 불량, 기어변속 불량, 누유, 엔진 실린더 파손 등의 중대 결함이 발견

됐다. 이후 결함을 해결하였으나, 시험평가 결과 작전운용성능 중 가속성능 기준을 충족하지 못하여 또 다시 지연되었다. 이에 군은 전력화 지연 우려로 인해 작전운용성능을 낮추어 수정하였음에도 불구하고 파워팩에서 결함이 발견돼 본격적인 양산절차가 중단됐다. 결국 핵심부품의 개발 실패로 전력화 시기가 5년 이상 지연되어 우리군의 미래 군사력 건설에 지장을 초래하고 있다.

한편 무기체계 개발과 관련된 방산업체들의 천문학적인 손실규모는 우리나라 방위산업의 기반을 위축시킬 수 있다. 따라서 국내 과학기술수준과 개발능력에 대한 철저한 사전검증을 통하여 그에 합당한 사업 추진방법을 결정하는 방식으로 단계별 작전운용성능을 설정한 진화적 획득개념을 적용하였다면 무기체계 저품질화, 국방예산 낭비, 전력화시기 지연, 사업 부실화 등의 문제점을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

이처럼 방위산업 분야에서 업체 선정 시 정성적 요소인 기술수준과 생산능력은 철저하게 검증되어야하는 핵심요소이나 제한적일 수밖에 없다. 또한 소요제기단계에서부터 의사결정을 위한 예산소요 요구가 지속적으로 증가하는 상황에서 무기체계의 작전운용성능 결정에는 한계가 있을 수밖에 없다. 이러한 한계에도 불구하고 최적의 작전운용성능과 합리적 방산획득을 유도하기 위한 연구가 필요하다.

1.2 연구 방법 및 범위

기존의 방산계약 및 입찰과 작전운용성능에 관련된 선행연구들은 제도과 절차상의 문제점을 선진국의 사례와 비교·분석한 문헌적 연구가 대부분이었으므로 정부의 최적 작전운용성능 수준의 결정과 그에 따른 방산업체들의 최적 입찰가 전략에 관한 연구는 부족한 상황이다.²⁾ 따라서 본 논문에서는 정부³⁾가 요구하는 작전운용성능과 그에 따른 방산업체의 입찰 전략을 게임이론을 적용한 입찰모형을 통해 분석하고자 한다. 방산획득을 방산업체의 입찰가 전략과 그로부터 발생하는 균형 입찰가를 고려한 게임이론을 통해 분석한 국내외 문헌은 드물다. 국내 문헌으로 변

1) 1994년 12월 22일 법률 제4825호로 제정되어, 중소기업의 구조고도화로 중소기업의 경쟁력을 강화하고 중소기업제품의 구매촉진과 판로확대, 중소기업의 경영기반을 확충함으로써 국민경제의 균형있는 발전을 도모하고 있다. 이 법에서는 중소기업의 구조고도화, 중소기업제품의 판촉촉진과 판로확대, 중소기업의 경영기반 확충, 중소기업창업과 진흥기금, 중소기업진흥공단의 설립과 운영에 관한 내용 등을 수록하고 있다.

2) 합리적 ROC 설정에 관한 해외사례, 제도적 개선방안 및 진화적 ROC 등에 대한 논의는 천종용 외(2017)을 참조하라.

3) 무기체계 소요제기는 국방부분부, 합동참모본부, 각 군 및 해병대, 방위사업청, 국적부대 및 합동부대 등 다양한 기관에서 제기 할 수 있는데, 본 논문에서는 위 모든 기관을 주체로 할 수 있는 '정부'로 통칭하겠다.

<표 1> 국방비와 방위력개선 예산 세출 추이

(단위 : 억원, %)

구 분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
정부재정	2,231,384	2,406,702	2,472,032	2,585,856	2,683,872	2,750,157
국방비	329,576	344,970	357,056	374,560	387,995	403,347
정부재정 대비 점유율(%)	14.8	14.3	14.4	14.5	14.5	14.7
방위력개선비	98,938	101,749	105,096	110,140	116,398	121,970
정부재정 대비 점유율(%)	4.4	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4
국방비 대비 점유율(%)	30.0	29.5	29.4	29.4	30.0	30.2
· 전력운영비	230,638	243,221	251,960	264,420	271,597	281,377
- 병력운영	134,923	142,718	148,409	155,811	164,067	171,464
- 전력유지	95,715	100,503	103,551	108,609	107,530	109,913

[자료 : 방위사업청, 『방위사업청 통계연보』, (2017), p.67.]

정욱·권오성(2017)은 게임이론의 경매이론을 국내의 방산 입찰제도들에 적용하여 분석하였고, 국외 문헌으로 Carpineti et al.(2006)은 공공조달 계약에 대한 포괄적 이론을 제시하고 있다. 하지만 정부의 ROC 설정이 방산기업의 입찰전략과 균형 입찰가에 미치는 영향과 이를 감안한 정부의 최적 ROC 설정에 대해 직접적으로 분석한 연구는 찾아볼 수 없다. 본 논문은 변정욱·권오성(2017)에서와 같이 국방획득 입찰을 게임이론의 입찰 모형으로 설정하되 입찰에 앞서 정부가 작전운용성능을 제시하는 모형을 설정하여, 방산기업들의 입찰전략과 정부의 최적 ROC 설정에 대해 분석하고 이에 근거해 시사점을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 문헌연구를 통해 정부계약 및 입찰제도와 소요기획 단계에서 작전운용성능에 대한 이론적 고찰을 실시하였으며, 현 실태 및 사례를 분석하고 문제점을 도출하였다. 3장에서는 정부의 ROC 제시와 이에 근거한 경쟁입찰 모형을 설정하여 분석하였다. 4장에서는 모형으로부터 도출된 결과에 대한 시사점, 그리고 연구의 한계와 향후 발전방향을 제시하였다.

II. 계약 및 입찰 현황과 획득사업 사례

2.1 방위사업 계약 및 입찰의 현황과 중요성

우리나라의 국방비는 <표 1>과 같이 2017년 정부재정 대비 14.7%이며, 이 중 방위력개선비는 2012년 이후 감소추세에 있다가 2016년부터 회복하여 2017년 30.2%이다. 방위사업청(2017)에 의하면 국방조달 규모는 <표 2>와 같이 최근 5년간 약 56조9,613억 원임을 알 수 있다. 이 중 국내조달이 차지하는 비중이 약 74.5%의 수준으로 국외조달에 비해 약 2.9배의 많은 비중을 차지하고 있다. 또한 <표 3>과 같이 계약종류 중에서 계약 체결 시에 계약금액을 확정하는 일반확정계약의 비중이 60.7%로 가장 높다. 즉, 계약 시에 계약금액을 확정하는 주요 경쟁요소가 가격임을 알 수 있다. 이러한 계약 중 <표 4>와 같이 최근 5년간 발생한 부정당업자는 총 627개 업체임을 알 수 있다. 부정당업자의 주요 발생사유는 계약 불이행의 경우가 72.8%로 가장 높았다. 이는 업체의 무리한 저가입찰과 요구성능 미충족으로 인해 발생했을 것으로 추정된다. 이러한 국방비 감소 추세와 국방예산 제약 하에서 정부와 방산업체의 계약은 균형적인 군사력 건설과 국가경제 발전에 미치는 영향이 상당히 크다는 점을 비추어 볼 때 매우 중요하다고 할 수 있다.

2.2 작전운용성능의 중요성

<표 2> 최근 5년간 국내외 계약집행 현황: 집행기준

(단위 : 억원)

구분	계	국내조달	국외조달
2012년	109,597	82,878	26,719
2013년	111,741	87,652	24,089
2014년	109,482	84,338	25,144
2015년	115,110	82,819	32,291
2016년	123,683	86,804	36,879
계	569,613 (100%)	424,491 (74.5%)	145,122 (25.5%)

[자료 : 방위사업청, 『방위사업청 통계연보』, (2017), p.133.]

<표 3> 최근 5년간 방산물자 계약종류별 계약현황 : 발주기준

(단위 : 억원)

구분	계		2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
일반확정계약	175,187	(60.7%)	36,089	30,225	52,383	32,484	16,384
중도확정계약	62,839	(21.8%)	10,067	6,611	35,802	9,339	1,020
특정비목 불확정계약	30,903	(11.1%)	3,689	11,681	5,092	5,209	9,692
일반개산계약	12,336	(4.4%)	2,427	1,066	4,677	1,563	5,299
성과기반계약	29	(0.01%)	-	-	-	-	29
유인부확정계약	-	-	-	-	-	-	-
물가조정 단가계약	367	(0.1%)	76	43	56	96	96
계	288,839	(100%)	46,484	71,784	78,133	32,591	59,847

[자료 : 방위사업청, 『방위사업청 통계연보』, (2017), p.145.]

<표 4> 최근 5년간 사유별 국내외 부정당업자 발생현황

(단위 : 업체수)

구분	계	계약 불이행/미체결	시험성적서 위변조	허위서류 제출	뇌물 및 입찰 담합	부당· 부정행위	하도급위반
계	627 (100%)	457 (72.8%)	85 (13.8%)	35 (5.7%)	24 (3.9%)	14 (2.3%)	9 (1.5%)

[출처 : 방위사업청, 『방위사업청 통계연보』, (2017), p.141.]

작전운용성능(Required Capability, 이하 ROC)이란 군사전략 목표달성을 위해 획득이 요구되는 무기체계의 운영개념을 충족시킬 수 있는 성능수준과 무기체계능력을 제시한 것으로서 주요 작전운용성능과 기술적·부수적 성능으로 구분되며, 이는 연구개발 또는 국외구매 무기체계의 획득을 위한 시험평가의 기준이 된다.⁴⁾

이러한 작전운용성능은 무기체계의 획득주기 전 기간에 걸쳐 영향을 미치는 중요한 요소로서 비용 및 전력화시기와 상호 보완적인 관계를 지니고 있다. 예를 들어 과도한 작전운용성능 설정은 비용 상승과 전력화시기를 지연시키는 부작용을 초래할 수 있으며, 전력화시기 단축을 너무 고집하다보면 무기체계 성능구현에 영향을 줄 수 있다. 따라서 작전운용성능은 연구개발간 전 단계에 걸쳐 영향을 미치므로 무기체계별 작전운용성능이 잘 설정되어야만 국내연구개발 및 국외구매 결정시 원활한 무기체계 전력화가 이루어질 것이다.⁵⁾

2.3 획득사업 사례분석⁶⁾

2.3.1 차기전술교량사업

차기전술교량사업은 천을 건너거나 끊어진 다리를 설치하는 임시가교를 우리나라 지형에 맞게 자체 개발하려는 목적으로 추진되었다. 2007년부터 체계개발을 시작하여 228억의 예산이 투자된 차기전술교량사업은 약 2년에 걸친 여섯 차례 가설범 조립체 시제품 자체 시험에서 성공하지 못하여 목표했던 2015년 양산이 무산됐다. 사업의 실패원인은 당시 세계 최고 수준에 근접하게 성공했지만, 군의 작전운용성능 수준에 미달하여 실패하였다. 만약 전술교량 보유 기술수준과 작전환경을 정확하게 평가하여 최적의 작전운용성능을 제시하였다면 적기 전력화는 물론 예산낭비를 방지 할 수 있었을 것이다.

2.3.2 K2전차사업

K2 전차 사업은 노후된 전차를 대체하고 기동 전력의 강화를 목표로 추진한 일명 ‘흑표 전차’

사업이다. 2003년 정식으로 체계개발에 착수하여 2012년부터 양산 할 예정이었으나 개발 중인 파워팩⁷⁾에서 문제가 발견되어 전력화가 지연되었다. 결국 1차 양산분 전차 100대에 국산 파워팩 대신 독일산 파워팩을 장착하여 전력화하였다. 이후 2차·3차 양산예정 전차부터는 국내 기술로 개발한 국산 파워팩을 적용할 계획으로 재추진되었으나, 시험평가에서 ROC의 가속성능 기준에 미달되어 문제가 발생하였다. 이에 정부는 전력 운영상의 문제에도 불구하고 작전운용성능 기준을 완화 하였지만, 이후 변속기, 엔진룸에서 문제가 발생하여 양산이 중단되었다. 결과적으로 전력화 시기가 지연되어 차기 군 구조 개편에 지장을 초래하였고, 협력 방산업체들의 손실뿐만 아니라 국방예산의 막대한 손실을 초래하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 방산업체의 근본적인 기술력의 보유 여부와 철저한 기술성숙도 평가(TRA)⁸⁾를 통해 핵심부품의 구매 또는 연구개발을 결정이 필요하다. 또한 만약 모든 방산업체가 ROC를 충족할 수 없다면 운영개념 범위 내에서 최초 ROC를 하향 조정하여 단계별로 발전시키거나, 국외구매 방안 등을 검토하면 무리한 사업 추진을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.⁹⁾

III. 작전운용성능을 고려한 경쟁입찰 모형

변정욱·권오성(2017)은 입찰이론을 적용한 게임이론 모형을 통해 방산업체들의 입찰가 전략을 분석하였다.¹⁰⁾ 하지만 이 모형에서는 획득사업의

7) 엔진과 주변 기기(클러치, 변속기, 감속기, 차동기 등)가 한 묶음으로 된 것으로 전차, 자주포, 다목적 전술차량 등의 동력 장치로 사용된다.

8) 기술성숙도평가(TRL, Technology Readiness Assessment)는 무기체계에 적용되는 핵심기술요소들이 어느 정도까지 성숙되어 있는지를 정량적으로 평가하는 공식적인 프로세스를 말한다.

9) 채우석(2014)은 K2전차의 가속성능 기준미달은 적유도탄의 비행시간과 전차의 기동가능 거리를 고려할 경우 전차의 생존성에 미미한 차이를 주는 반면 국산 파워팩은 해외 대비 약 5억원이 저렴할뿐더러 유지보수비용 측면에서도 해외 대비 월등함을 주장했다. 이러한 점을 고려하면 K2전차의 가속성능에 대한 ROC는 최적의 ROC로 보기 어렵다.

10) 이밖에 게임이론을 적용한 입찰 또는 경매에 대한 이론적 논의는 Engelbrecht-Wiggans(1980), McAfee

4) 국방부 훈령 제2040호, 「국방전력발전업무훈령」, (2017), p.240.

5) 육군교육사령부, 『작전운용성능 설정기준』, (육군본부, 2014), p.15.

6) 국방대학교 직무교육원, 『국방무기체계사업관리 - 소요관리 전문과정(소요기획)』, (국방대학교, 2017), pp.6-7.

근간이 되는 핵심기준이라고 할 수 있는 작전운용성능에 대한 변수를 고려하지 않아 정부의 최적 ROC 수준 결정을 위한 전략과 그에 따른 방산업체들의 입찰가 전략을 분석하기에는 한계가 있었다. 이러한 한계를 보완하기 위해서 이번 장에서는 정부가 1단계에서 작전운용성능을 제시하고 2단계에서 방산업체들이 경쟁입찰에 참여하는 방식으로 모형을 구성한다. 이러한 모형을 통해 작전운용성능의 수준이 방산업체들의 입찰전략에 미치는 영향과 이러한 영향이 다시 정부의 최적 작전운용성능의 선택에 미치는 영향을 살펴보도록 하겠다.

3.1 기본 가정

이하에서는 본 모형의 기본 가정들을 살펴본다. 우선 입찰절차에 대한 가정은 다음과 같다. 사업비용이 불확실한 방산업체 사업자 선정이 2단계 경쟁입찰을 통해 이루어진다고 가정한다. 먼저 1단계로 정부는 작전운용성능(R)의 수준을 제시하고, 두 개의 경쟁업체(업체1, 업체2)가 작전운용성능 달성 계획 제안서를 접수한다. 정부는 제안서에 대한 기술평가를 실시한 후 합격업체를 통보한다. 2단계로 합격업체(업체1, 업체2)는 입찰가격을 제시하고 최저가 밀봉입찰을 통해 이 중 낮은 가격을 제시한 업체가 낙찰된다. 동일한 가격을 제시했을 경우에는 $\frac{1}{2}$ 의 확률로 낙찰된다고 가정한다. 두 업체 모두 위험 중립적이며 1단계의 기술평가는 통과한다고 가정한다.

다음으로 방산업체의 비용구조에 대한 가정은 다음과 같다. 방산업체(업체1, 업체2)의 사업비용은 공통비용과 특화비용으로 구성된다. 공통비용(c)은 방산업체(업체1, 업체2)가 작전운용성능을 달성하기 위해서 업체에 무관하게 동일하게 들어가는 비용을 의미하며 정부가 요구하는 작전운용성능(R)의 함수 $C(R;\gamma)$ 로서 R 이 증가할수록 증가하며 R 에 대한 한계비용도 체증한다고 가정한다. 이때 $\gamma(>0)$ 는 작전운용성능 달성의 난이도를 나타내는 파라미터로서 γ 가 클수록 해당 작전운용성능 달성에 소요되는 비용이 많이 요구되는 고난이도 작전운용성능임을 의미한다. 즉, 동일한 ROC 수준을 달성할 경우라도 γ 가 클수록 비용과 한계비용이 높다고 가정한다.

$$\frac{\partial C}{\partial R} > 0, \frac{\partial^2 C}{\partial R^2} > 0, \frac{\partial C}{\partial \gamma} > 0, \frac{\partial^2 C}{\partial R \partial \gamma} > 0$$

and McMillan(1987), Milgrom(1989), Wilson(1992) 등을 참조하라.

특화비용은 업체별 특징, 비교우위 등의 차이에 따라 서로 상이하게 적용되는 비용을 의미한다. 각 업체의 특화비용이 $f_i (i=1,2)$ 의 경우 각 업체는 자신의 비용은 알고 있으나 상대 업체의 특화비용은 모르지만 확률분포는 알고 있다고 가정한다. 즉, 업체1이라면 사업을 위한 자신의 특화비용은 알고 있으나 업체2의 정확한 비용은 모른다. 분석의 편의를 위해 f_i 는 0과 1사이의 균일분포를 한다고 가정한다.

$$f_i \sim U(0,1)$$

이로부터 방산업체 $i(i=1,2)$ 의 총 사업비용은 특화비용과 공통비용의 합으로 다음과 같다.

$$f_i + C(R;\gamma)$$

이러한 가정 하에서 각 업체는 입찰가격 $b_i (i=1,2)$ 를 제시하면 이중에서 최저가를 제시한 업체가 해당 사업의 방산업체로 선정되고 다음의 이윤을 얻게 된다.

$$\pi_i \equiv b_i - f_i - C(R;\gamma)$$

이하에서는 1단계에 정부가 제시한 작전운용성능 하에서 2단계의 방산업체의 최적 입찰가 전략을 살펴본 후 이를 기초로 1단계에서 정부의 최적 작전운용성능을 추론하는 역진귀납법(backward induction) 방식으로 하위게임완전균형(subgame perfect equilibrium)을 도출한다.

3.2 방산업체 특화비용에 따른 선형 입찰가 전략: 2단계

각 방산업체는 다양한 방법으로 자신의 입찰가를 결정할 수 있으나 각 업체의 특화비용(f_i)에 선형으로 비례하여 입찰가를 결정하는 전략을 사용한다고 가정한다. 이러한 전략은 경쟁자와 차이가 나는 비용을 입찰가 수립 전략의 근거로 삼는다는 점과 그러한 비용에 비례하여 입찰가를 결정한다는 점에서 단순하며 직관적이라는 특징이 있다. 따라서 각 방산업체의 선형 입찰가 전략은 다음과 같다.

$$b_i = a_i \cdot f_i + k_i, \text{ (단, } a_i, k_i \text{는 상수)}$$

업체2가 선형 입찰가 전략을 사용할 경우 b_1

을 제시한 업체1의 기대이윤은 다음과 같이 구할 수 있다. 먼저, 업체2의 선형 입찰가 전략을 $b_2 = a_2 \cdot f_2 + k_2$ 라 가정하고, 업체1이 b_1 의 입찰가를 제시했을 경우 업체1이 낙찰되려면 b_1 이 업체2의 입찰가인 $b_2 = a_2 \cdot f_2 + k_2$ 보다 낮아야 하고, 반대가 되면 탈락이 된다.

(업체1의 낙찰 경우)

$$b_2 = a_2 \cdot f_2 + k_2 > b_1, f_2 > \frac{b_1 - k_2}{a_2}$$

(업체1의 탈락 경우)

$$b_2 = a_2 \cdot f_2 + k_2 < b_1, f_2 < \frac{b_1 - k_2}{a_2}$$

따라서 각 업체의 기대이윤은 자신이 낙찰되는 경쟁자의 특화비용에 대해 경쟁자 특화비용의 확률밀도 함수를 곱한 후 이를 자신이 낙찰되는 경쟁자의 모든 특화비용에 대해 적분함으로써 다음과 같이 구할 수 있다.

(업체1의 기대이윤)

$$\begin{aligned} E\pi_1(b_1) &= \int_{\frac{b_1 - k_2}{a_2}}^1 (b_1 - f_1 - C(R:\gamma)) df_2 \\ &= \frac{(b_1 - f_1 - C(R:\gamma))(a_2 - b_1 + k_2)}{a_2} \end{aligned} \quad (1)$$

(업체2의 기대이윤)

$$\begin{aligned} E\pi_2(b_2) &= \int_{a_1}^1 (b_2 - f_2 - C(R:\gamma)) df_1 \\ &= \frac{(b_2 - f_2 - C(R:\gamma))(a_1 - b_2 + k_2)}{a_1} \end{aligned} \quad (2)$$

각 업체는 위험 중립적이라고 가정하였으므로 각 업체는 자신의 기대 이윤함수를 극대화하도록 각각의 전략변수인 입찰가를 설정하며, 이를 식 (3), (4)와 같이 표현할 수 있다.

(업체1)

$$\max_{b_1} \frac{(b_1 - f_1 - C(R:\gamma))(a_2 - b_1 + k_2)}{a_2} \quad (3)$$

(업체2)

$$\max_{b_2} \frac{(b_2 - f_2 - C(R:\gamma))(a_1 - b_2 + k_2)}{a_1} \quad (4)$$

식 (3), (4)를 극대화하는 입찰가는 두 식을 각각의 전략변수인 입찰가로 미분한 식이 0이 되는 1계조건을 통해 구해지므로, 각 업체의 최적 입찰가 전략을 다음과 같이 구할 수 있다.

(업체1의 1계조건)

$$-2b_1 + a_2 + k_2 + f_1 + C(R:\gamma) = 0$$

(업체1의 최적 입찰가 전략)

$$b_1 = \frac{f_1 + a_2 + k_2 + C(R:\gamma)}{2} \quad (5)$$

(업체2의 1계조건)

$$-2b_2 + a_1 + k_1 + f_2 + C(R:\gamma) = 0$$

(업체2의 최적 입찰가 전략)

$$b_2 = \frac{f_2 + a_1 + k_1 + C(R:\gamma)}{2} \quad (6)$$

그런데 식 (5), (6)은 곧 각각 $b_1 = a_1 \cdot f_1 + k_1$, $b_2 = a_2 \cdot f_2 + k_2$ 이므로 $a_1 = a_2 = \frac{1}{2}$ 임을 알 수 있다. 따라서 $k_1 = \frac{1}{2}(k_2 + \frac{1}{2} + C(R:\gamma))$, $k_2 = \frac{1}{2}(k_1 + \frac{1}{2} + C(R:\gamma))$ 이므로 $k_1 = k_2 = \frac{1}{2} + C(R:\gamma)$ 임을 알 수 있다. 이상으로부터 2단계에서의 방산업체 $i(i=1,2)$ 의 선형 Nash 균형 입찰가 전략은 다음과 같다.

$$b_i^* = \frac{1}{2}f_i + \frac{1}{2} + C(R:\gamma), (i=1,2)$$

이러한 균형 입찰가 전략으로부터 정부의 기대낙찰가는 업체 1이 낙찰될 경우의 기대낙찰가와 업체 2가 낙찰될 경우의 기대낙찰가를 각각의 확률밀도함수로 적분하여 가중합하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\int_0^1 \left[\int_0^{f_1} \left(\frac{1}{2}f_2 + \frac{1}{2} + C(R;\gamma) \right) df_2 + \int_{f_1}^1 \left(\frac{1}{2}f_1 + \frac{1}{2} + C(R;\gamma) \right) df_2 \right] df_1$$

$$= \frac{11}{12} + C(R;\gamma)$$

정리 1 총 사업비용은 공통비용 $C(R)$ 와 특화비용 f_i ($i=1,2$)으로 구성되며, 각 업체는 자신의 특화비용만 알고 업체 공통비용과 경쟁업체의 특화비용에 대해서는 확률 분포 $f_i \sim U[0,1]$, ($i=1,2$) 만 알고 있는 경우,

(i) 각 업체의 입찰가 전략 $b_i = \frac{1}{2}f_i + \frac{1}{2} + C(R;\gamma)$, ($i=1,2$)는 2단계에서의 Nash 균형이다.

(ii) 2단계에서의 기대 낙찰가는 $\frac{11}{12} + C(R;\gamma)$ 이다. ■

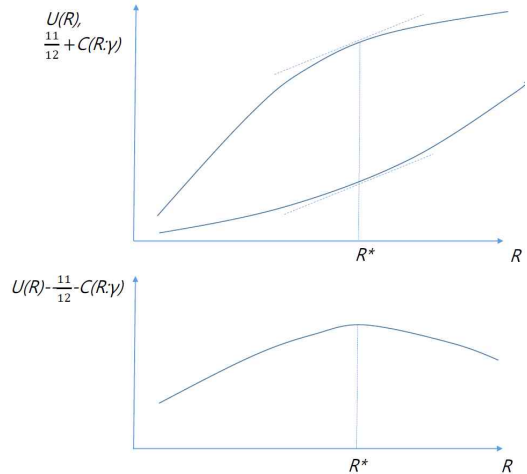
정리 1로부터 본 모형과 같은 환경 하에서의 방산업체의 입찰가 전략은 입찰가에 경쟁자와 차별성이 없는 공통비용 모듈을 포함하는 반면, 경쟁자와 차별화되는 자신의 특화비용에 선형으로 비례하는 입찰가격을 제시하는 것을 볼 수 있다. 또한 정부가 ROC를 증가시킬 경우 ROC의 증가가 공통비용을 증가시켜 균형 입찰가격을 상승시키고, 결과적으로 기대 낙찰가도 상승시킴을 알 수 있다.

3.3 정부의 기대낙찰가에 따른 최적의 작전운용성능 전략: 1단계

정부가 작전운용성능이 R 인 무기체계를 획득함으로써 얻는 정부의 직접적 효용 $U(R)$ 은 목표치로 설정한 작전운용성능 R 의 증가함수이며 한계효용이 일정 또는 체감한다고 가정한다. 즉 $U'(R) > 0$, $U''(R) \leq 0$. 한편 정부가 작전운용성능의 수준을 R 로 제시했을 경우 정부의 기대낙찰가는 $\frac{11}{12} + C(R;\gamma)$ 이므로 정부의 순효용은 정부의 직접적 효용 $U(R)$ 에서 $\frac{11}{12} + C(R;\gamma)$ 을 차감한 것으로 다음과 같이 가정한다.¹¹⁾

11) 작전운용성능은 비용 또는 입찰가에 따라 결정되는 것이라기보다는 적과 싸워 이길 수 있는 성능을 요구하는 것이다. 그럼에도 불구하고 전투에서 승리할 수 있는 요인은 한 무기체계의 성능 이외에도 다양한 요

정부의 순효용 = $U(R) - \frac{11}{12} - C(R;\gamma)$



<그림 1> 무기체계 획득의 직접효용, 기대낙찰가, 순효용 및 최적 작전운용성능(ROC)

따라서 정부의 순효용을 극대화 하는 정부의 문제는 다음과 같다.

$$(정부) \max_R [U(R) - \frac{11}{12} - C(R;\gamma)]$$

위 극대화문제의 1계조건을 통해 정부의 최적 작전운용성능 결정 전략을 구하면 다음과 같다.¹²⁾

$$(정부의 1계조건) \quad U'(R) - C'(R;\gamma) = 0$$

<그림 1>은 정부가 제시하는 작전운용성능(R)에 따른 정부의 직접적 효용과 이러한 무기체계 획득의 비용인 기대낙찰가를 표시한 것이다. <그림 1>의 하단 그래프는 ROC가 증가함에 따라서 정부의 순효용을 극대화하는 최적의 ROC 수준

인에 의해 영향을 받는 등 불확실한 경우가 많다. 따라서 이러한 불확실성이 클 경우 현실적으로 경제적 요인도 작전운용성능의 선택에 영향을 미치는 요인이 될 수 있다. 천종용 외(2017, p57)에서 작전운용성능에 영향을 미치는 요소들로서 기술수준, 운용개념, 작전환경 등 이외에도 가용예산을 들고 있는 것도 이러한 점을 시사하는 것으로 볼 수 있다.

12) $U''(R) \leq 0$, $C''(R) > 0$ 이므로 극대화 2계조건도 충족됨을 확인할 수 있다.

R^* 를 나타낸다. R^* 보다 낮은 ROC 수준에서는 ROC를 증가시키기에 따른 정부의 직접적 효용 증가가 기대낙찰가의 증가보다 커서 ROC를 증가시키는 것이 바람직하며, R^* 보다 높은 ROC 수준에서는 ROC를 증가시키기에 따른 정부의 직접적 효용 증가가 기대낙찰가의 증가보다 작아서 ROC를 감소시키는 것이 바람직하다. 후자와 같은 과도한 작전운용성능의 제시는 비용대비 효과가 적어 바람직하지 않다.

정리 2 정부는 작전운용성능(R)을 달성함으로써 $U(R)$ 만큼의 직접 효용을 얻는다고 가정하면,

(i) 정부의 최적 작전운용성능 R^* 는 $U'(R^*) - C'(R^*; \gamma) = 0$ 를 만족시킨다.

(ii) γ 가 증가하면 최적 ROC R^* 는 감소한다.

증명: (i) 정부의 순효용을 극대화하기 위해서는 극대화 1계조건을 만족시켜야 하므로 최적 ROC R^* 는 $U'(R^*) - C'(R^*; \gamma) = 0$ 을 만족시킨다.

(ii) $U'(R^*) - C'(R^*; \gamma) = 0$ 를 R^* 와 γ 에 대해 전미분하면 $dR^* \left(\frac{\partial^2 U}{\partial R^{*2}} - \frac{\partial^2 C}{\partial R^{*2}} \right) - d\gamma \frac{\partial^2 C}{\partial R^* \partial \gamma} = 0$ 이다. 이를 정리하면

$$\frac{dR^*}{d\gamma} = \frac{\partial^2 C}{\partial R^* \partial \gamma} / \left(\frac{\partial^2 U}{\partial R^{*2}} - \frac{\partial^2 C}{\partial R^{*2}} \right) \text{이다.} \quad \text{그런데}$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial R^2} < 0, \frac{\partial^2 C}{\partial R^2} > 0, \frac{\partial^2 C}{\partial R \partial \gamma} > 0 \text{ 이므로}$$

$$\frac{dR^*}{d\gamma} = \frac{\partial^2 C}{\partial R^* \partial \gamma} / \left(\frac{\partial^2 U}{\partial R^{*2}} - \frac{\partial^2 C}{\partial R^{*2}} \right) < 0 \text{ 임을 확인할 수 있다.} \quad \blacksquare$$

예를 들어 $C(R; \gamma) = \gamma R^2$, $U(R) = R$ 이라고 가정할 경우 $R^* = 1/2\gamma$ 이며 $U(R) = \sqrt{R}$ 일 경우

$R^* = (4\gamma)^{-\frac{2}{3}}$ 이 된다. 이상의 예에서 알 수 있듯이, γ 가 높아질수록 최적 R^* 가 낮아진다. 즉, γ 가 높을수록 ROC를 급격히 향상시키기 힘든 무기체계이다. 이러한 무기체계에 대해 국내개발을 통한 획득을 원할 경우, 최적 ROC는 낮은 수준에서부터 설정하는 것이 바람직하다. 반면에 γ 가 낮을수록 ROC를 급격히 향상시키는 것이 가능한 무기체계이다. 이러한 무기체계의 국내개발을 통한 획득의 경우, 최적 ROC는 충분히 높은 수준에서 설정하는 것이 바람직하다. 이러한 최적 ROC 설정은 국방과학발전추세와 기술수준, 생산능력을 고려한 진화적 ROC를 설정과 일맥

상통한다. 왜냐하면, 이러한 최적 ROC 설정을 통해 높은 수준의 ROC를 처음부터 달성하기 어려운 무기체계는 처음에는 낮은 수준의 ROC를 설정하여 획득한 후 무기체계의 생산 및 운영 경험과 지속적인 기술개발을 바탕으로 최적 작전운용성능을 점진적으로 증가시킬 수 있기 때문이다.

IV. 결 론

4.1 요약 및 시사점

최근 방산계약과 관련된 문제점의 하나로 높은 작전운용성능 요구와 무리한 저가입찰을 통한 사업 부실화의 문제가 지적되고 있다. 따라서 본 연구는 이러한 문제점을 분석하고자 작전운용성능을 적용한 2단계 경쟁입찰 모형을 설정하여 작전운용성능 수준이 방산업체의 입찰가 전략에 미치는 영향과 이에 근거한 정부의 최적 작전운용성능 수준 결정 전략을 분석하였다. 이를 위해 선형 입찰가 전략 모형에 작전운용성능을 추가한 게임이론의 입찰 모형을 활용하였으며, 이로부터 다음과 같은 정책적 시사점을 발견하였다.

첫째, 작전운용성능 증가에 따른 정부의 직접적 효용은 한계효용이 체감하는 형태로 증가하는 반면 정부의 기대낙찰가는 ROC 수준의 증가에 따라 체증한다. 따라서 우리나라의 과학기술수준 발전추세를 벗어난 과도한 작전운용성능 수준의 요구는 과도한 낙찰가의 상승으로 정부의 순효용을 감소시키므로 바람직하지 않다.

둘째, 작전운용성능 달성의 난이도 지표인 γ 가 높아질수록 정부의 최적 작전운용성능 요구 수준인 R^* 가 낮아진다. γ 가 높은 최첨단 무기체계일수록 최적 ROC는 기술력 부족 등을 고려하여 최초 ROC는 낮은 수준에서 설정해야 한다. 이러한 방안은 결국 우리나라의 과학기술 수준에 맞는 단계적 작전운용성능 수립이라는 점에서 진화적 획득 전략과 일맥상통한다. 이러한 진화적 획득전략의 정착과 발전을 위하여 우리군의 환경과 부합되는 개념정립, 정책마련 등의 실질적인 노력이 지속되어야 할 것이다. 다만, 군이 요구한 ROC 충족이 불가능하다고 평가될 경우에는 과감히 연구개발이 아닌 구매 사업으로 추진하여 군의 입장에서 요구한 ROC보다도 낮은 ROC를 일정기간 감수함으로써 격여야 하는 전력의 공백은 회피해야 한다. 반대로 γ 가 낮은 무기체계는 최적 ROC를 과학기술의 수준과 전망을 고려하여 높은 수준에서 설정하는 것이 바

람직하다. 결론적으로 ROC는 소요군의 요구성을 충족하는 최적의 수준으로 설정하되 첨단화, 가속화되는 기술발전의 추세를 감안하여 단계별 ROC를 설정하는 진화적 획득전략의 확대가 필요하다. 이를 통하여 국방예산 절감과 비용 대비 우수한 성능의 무기체계를 적기 전력화하고 국내 방산업체의 기술수준을 점진적으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

4.2 연구의 한계 및 향후 연구방향

방산 획득과 계약 및 입찰에 관련된 선행연구는 대부분 정책적 제언을 통한 관련 제도의 활성화 방안이었다. 이와 달리 본 연구는 정부와 방산업체의 작전운용성능 설정과 방산업체의 경쟁 입찰 전략을 분석하기 위해 게임이론의 입찰 모형에 작전운용성능을 추가하여 분석하였다는 점에서 기존의 연구와 차별성을 가지고 있다. 그러나 본 연구는 다음과 같은 한계를 가지고 있다.

우선 본고는 방산획득과 최적 작전운용성능 설정의 문제를 단순하고 추상화된 2단계 경쟁입찰이라는 제한된 상황에서 분석한 것이다. 하지만 실제 계약 및 입찰 방법은 다양한 현실적 상황과 조건에 따라서 상이하게 적용된다. 따라서 본 연구는 모형에서 고려하지 못한 현실적 상황도 함께 고려한 유연한 해석과 적용이 필요하다.

또한, 본 연구는 관련 사례 및 데이터 수집의 한계로 작전운용성능과 방산업체들의 입찰전략, 최종 낙찰가 등 주요 변수들과의 상관관계 분석 등 실증적 분석을 수행하지 않았다. 이러한 한계를 보완하기 위해 향후에는 본 연구에서 더 나아가 관련 사례 및 데이터 수집을 통해 실증적인 연구를 수행함으로써 연구의 한계를 보완할 필요가 있다.

참고문헌

- 1) 교육사령부, 『작전운용성능 설정기준』, 육군본부, 2014.
- 2) 국방대학교 직무교육원, 『국방무기체계사업관리 - 소요관리 전문과정』, 국방대학교, 2017.
- 3) 국방부, 『국방전력발전업무훈령』, 국방부훈령 제2040호, 2017.
- 4) 방위사업청, 『방위사업 통계연보』, 2017.
- 5) 변정욱·권오성, “방위사업 입찰제도 비교분석”, 『제도와 경제』, 제11권, 제2호, 2017, pp45-69.

6) 채우석, “K2전차 ROC 수정 논란을 보며”, 서울신문, 2014.11.14.

7) 천중용, 서운원, 김영환, 민광기. 『합리적 작전운용성능(ROC) 설정 및 수정체계 구축』, 안보경영연구원, 2017.

8) Carpineti, L., G. Piga and M. Zanta, “The Variety of Procurement Practice: Evidence from Public Procurement”, in 『Handbook of Procurement』 edited by N. Dimitri, G. Piga and G. Spagnolo, Cambridge University Press, 2006. pp. 14-46.

9) Engelbrecht-Wiggans, R., "Auctions and Bidding Models: A Survey", Management Science, Vol. 26. No. 2, 1980, pp.119-142.

10) McAfee, R. P. and J. McMillan, "Auctions and Bidding", Journal of Economic Literature, Vol. 25, 1987, pp.699-738.

11) Milgrom, P., "Auctions and Bidding: A Primer", Journal of Economic Perspective, Vol. 3, No. 3, 1989, pp.3-22.

12) Wilson, R., "Strategic Analysis of Auctions", in, edited by R. J. Aumann and S. Hart, Handbook of Game Theory with Economic Applications, Vol. 1, North-Holland, 1992, pp.227-279.