

성과기반 군수지원체계의 정비정책 최적화를 위한 PIDO 기법 적용에 관한 연구

주현준¹, 이재천^{2*}

¹국방과학연구소 항공체계단, ²아주대학교 시스템공학과

A Study on the Application of PIDO Technique for the Maintenance Policy Optimization Considering the Performance-Based Logistics Support System

Hyun-Jun Ju¹ and Jae-Chon Lee^{2*}

¹Aircraft Systems PMO, ADD, ²Dept. of Systems Engineering, Ajou University

요 약 무기체계에 대한 군수지원 방법으로 성과중심 군수지원체계가 최근에 많은 관심을 끌고 있다. 기본개념은 운용단계에서의 민수계약으로 군수지원을 제공하게 되는데, 체계개발단계부터 군수지원요소가 결정되는 것이 필요하다. 또한 기존의 단일 성과지표로부터 확장하여 복수의 성과지표를 고려할 필요가 있다. 시스템 구조가 복잡해짐에 따라 기존 최적화기법의 적용에 제약이 존재하므로 유전자 알고리즘의 적용 가능성 판단이 요구된다. 본 연구에서는 운용단계 이전 체계개발단계에서부터의 성과기반군수지원 개념을 고려한 수리수준분석을 위한 요구사항을 식별한다. 또한, 운용단계 이전에 사용자의 요구사항에 따른 정비정책 대안 결정을 위하여 성과지표 설정 및 제약조건 변경이 용이한 PIDO 기법의 최적화 기법 적용 방안을 제시한다. PIDO 개념을 적용하고 있는 PIANO와 ModelCenter 도구의 유전자 알고리즘이 정비정책 최적화 문제에 적용 가능함을 확인하였다.

Abstract In this paper the concept of the performance-based logistics (PBL) support for weapon systems is discussed and an enhancement is studied such that prior to the Operational phase, the development of the PBL can begin from the Engineering & Manufacturing Development (EMD) phase together with multiple performance indices considered. The genetic algorithm should be considered for the complex system to solve the maintenance policy optimization. In particular, the requirement of repair level analysis model is developed based on reflecting the PBL concept. To decide the maintenance policy prior to Operational phase in accordance with customer requirements, the PIDO(Process Integration and Design Optimization) technique useful in choosing the performance indices and changing the constraints was used. The genetic algorithm of PIDO tool, like PIANO and ModelCenter, was verified that it could be applied to optimize the maintenance policy.

Key Words : Maintenance Policy, PBL, PIDO

1. 서론

PBL(Performance Based Logistics: 성과기반군수지원)은 기존의 ILS(Integrated Logistic Support: 종합군수지원)와의 개념적인 차이가 있다. ILS는 운용단계에서 필요로

하는 지원장비, 수리부속 등 제반 군수지원 요소를 개발하고 사용자에게 제공함으로써 사용자가 운영의 책임을 갖는다[1].

PBL은 제반 군수지원 요소를 획득하는 게 아니라 공급자와 장기계약을 통하여 성과지표를 확보하는 것에 초

*Corresponding Author : Jae-Chon Lee(Ajou Univ.)

Tel: +82-31-219-3941 email: jaelee@ajou.ac.kr

Received January 3, 2014

Revised January 24, 2014

Accepted February 5, 2014

점이 있다[2].

PBL 수행 절차 중 하나의 구성요소인 BCA (Business Case Analysis)는 여러 대안별 분석을 통하여 최적의 대안을 선정하는 과정이다. 구성항목으로는 목표산출물과 요구사항을 정의하고 평가기준을 결정한 후 대안을 도출한다. 대안별 비용추정을 실시하며 기타 위험분석과 민감도분석을 통한 대안 비교를 수행한다.

수리수준분석(LORA: Level of Repair Analysis)은 시스템의 구성품이 고장이 났을 때 이를 수리하는 최적의 정비계단을 선택하는 것이다. 정비계단은 부대수준, 야전수준, 창수준, 폐기 등의 군직정비와 외주정비의 민수정비로 구분할 수 있다. 최적의 정비계단 결정을 위한 기존 수리수준분석 모형은 운용가용도를 만족하면서 비용을 최소화하는 수리적 모형을 이용하여 최적정비수준을 제시하고 있다[3,4].

성과기반군수지원 개념을 반영하기 위해서는 복수개의 성과지표를 동시에 고려한 정비정책 결정을 수행하여야 한다. 그러나, 기존 수리수준분석은 성과지표로서 운용가용도만을 고려하고 있다. 수리수준분석 모형은 아니지만 설계대안 결정을 위하여 U. D. Kumer et al.[5]은 성과지표의 목표로서 총소유비용을 최소화하며, 시스템의 재고 가용도를 최대화한다. 동시에, MTTR (Mean Time To Repair: 평균수리시간)을 최소화하며, 시스템의 군수비용을 최소화하는 것을 목표로 설정하였다. 이와 같은 목표를 달성하기 위하여 각각의 성과지표의 목표를 설정하고 불만족시 벌금(Penalty)을 부과하는 조건을 이용하여 총 벌금비용을 최소화하는 설계대안 결정방법을 제시하고 있다. 이는 기존의 단일 성과지표만을 고려하는 대안분석 개념을 복수개의 성과지표로 확장시키는 방안을 제시하였다.

O. Wijk et al.[6], P. Andersson et al.[7]은 수리부속 소요량을 산출한 후 별과비용함수를 이용하여 부재고에 의한 비용분석을 수행하였다. 또한, 시물레이션을 이용하여 시간대별 성과지표의 변화량을 판단할 수 있다. 이를 통하여 위험요인을 식별하고 사용자와 계약자간의 목표 달성 추이를 판단하는데 활용하였다.

T. Jin et al.[8]은 성과지표로서 MTBF(Mean Time Between Failure: 평균고장간시간), MTTR, 운용가용도를 제시하고 있다. MTBF와 고장율과의 관계, MTTR과 수리부속가용도와의 관계, 장비 가동률 산출 식을 표현함으로써 수리부속의 재고수준, MTBF, 수리순환시간, 운용비용, 배치대수, 가용도간의 상관관계를 제시한다.

복수개의 성과지표를 적용하였을 때 성과지표간의 가중치를 부여할 수 있다. 미 공군의 F-117 사업의 경우 수리부속의 부족으로 인한 항공기의 작동불가 상태인

NMCS(Not Mission Capable Supply: 수리부속에 의한 임무수행불가) 외 6가지의 성과지표를 적용한 후 각각의 가중치를 부여하였다[9]. 가중치 결정방법은 복수개의 성과지표간의 상대적인 중요도를 고려하여 판단한다[10].

본 연구에서는 체계개발단계에서부터 PBL 개념을 반영한 정비정책 대안 결정을 위한 요구사항을 식별하고자 한다. 또한, 복수개의 성과지표에 대하여 가중치 설정 및 사용자의 제약조건 선택이 용이하도록 하기 위하여 설계 분석에 사용되는 PIDO 기법을 군수공학 모형에 적용하는 것을 시도하였다.

2. 문제 정의

기존의 종합군수지원 개발개념에서 성과기반군수지원을 고려한 정비정책 결정을 위한 적용상에 있어서 다음과 같은 제약사항이 있다.

(1) 체계개발단계에서 PBL 개념을 고려하지 않은 군수지원요소 개발

PBL 계약을 목표로 하는 무기체계인 경우, 체계개발 단계에서 PBL 개념을 고려한 정비정책 대안분석이 필요하다. 성과기반군수지원 개념은 운용단계의 초기에 계약을 통하여 군수지원개념을 설정함에 따라 체계개발단계의 군수지원 관련 개발 결과물이 계약에 따라 불필요할 수 있다. 그러므로, 운용단계 초기의 PBL 계약을 위해서는 PBL 개념을 체계개발단계에서부터 고려하여 분석할 필요가 있다[11].

체계개발단계의 목표는 부대 및 야전수준의 군수지원 요소개발로 정의되어 있다[12]. 그러므로, PBL 계약 시 결정되는 각 구성품별 민수 정비를 고려하여 요구되는 개발대상 군직정비에 해당하는 군수지원 요소개발이 체계개발단계에서부터 이루어져야 한다.

(2) 최적의 정비정책 결정을 위한 수리수준분석에 PBL 개념 적용 확장성 제한

기존 수리수준분석은 하나의 성과지표에 초점을 두고 분석을 수행하고 있으며[3], PBL 계약을 위해서는 복수개의 성과지표를 반영할 수 있는 확장성이 필요하다. 이를 통하여 다양한 성과지표 설정에 따른 정비대안분석이 가능하여야 한다. 또한, 성과지표간의 가중치 설정을 통하여 사용자의 다양한 요구사항을 용이하게 반영할 수 있어야 한다. 이러한 제약사항을 반영한 개선방향은 Table 1과 같다.

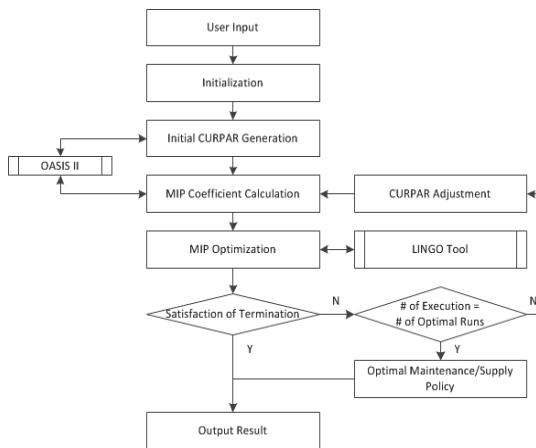
[Table 1] Problem Definition

	As-Is	To-Be
Objective Parameter	Cost	Cost
Constraint Parameter	Operational Availability	Multiple Performance Indices (Operational Availability, Reliability, Maintainability, Logistic Delay Time)
Technique	MIP(Mixed Integer Programming)	MIP
Optimization Tool	LINGO Tool	PIDO Tool

3. 성과중심의 정비정책결정을 위한 PIDO 기법 적용방안 도출

3.1 기존모델 활용방안 수립

기존 수리수준분석 모델인 ORORA 모델과 수리부속 소요량 산출모델인 OASIS II 모델 개념을 이용하여 개선하고자 한다. ORORA 모델의 분석 절차는 Fig. 1과 같다[3].



[Fig. 1] ORORA Analysis Process

OASIS II 모델을 통해 재고 및 부재고 수량을 최적화하고 LINGO를 통하여 정비정책을 최적화한다. 초기 CURPAR(부재고비용) 값은 최적화 결과에 따라 하향 조정하여 재고수량 판단에 영향을 준다. LINGO의 비용 최적화 결과는 고장모드별 최소비용의 조합으로 결정된다.

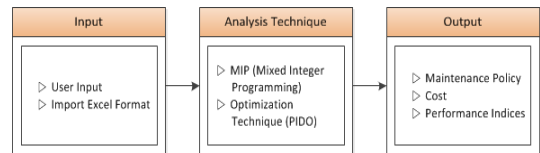
사용자의 정비/보급 체계, 시스템 구조 등의 입력변수 설정이 선행된다. 수리수준분석모델의 입력항목은 군수 지원분석 자료, 비용자료, 신뢰도, 정비도 분석자료 등이

사용된다.

이들 자료는 각각의 분석 도구를 활용하고 있으며 이들 도구들 간의 입력력자료를 활용할 수 있어야 한다.

3.2 PIDO 기반의 최적화 정의

성과중심의 정비정책 결정 모델이 갖고 있는 특징은 Fig. 2와 같다. 입력 구성항목은 사용자 입력하면 구성 및 기존 분석 도구들 간의 입력변수를 활용할 수 있다. 입력 방법으로 비용(PRICE-HL), 군수지원분석(LOADERS II), 수리수준분석(ORORA, OASIS II), RAM (Reliability, Availability, Maintainability) 분석(Relex) 도구를 활용하여 필요한 자료를 엑셀양식을 통하여 자동 입력이 가능하며, 필요시 직접 입력할 수 있어야 한다.



[Fig. 2] Requirement Definition

기존 수리수준분석 모델에 성과기반군수개념을 반영하기 위하여 복수개의 성과지표를 적용한 최적 정비정책 결정이 필요하다. ORORA의 LINGO 기반의 최적화 개념을 성과지표 선정 및 제약조건 변경이 용이하도록 기존 프로세스 통합 설계최적화 도구인 PIDO에서 제공하는 최적화 알고리즘을 적용한다.

PIDO 개념을 반영한 도구로서 국내에서 개발된 PIANo와 외국에서 개발된 ModelCenter의 최적화 알고리즘을 고려한다.

출력에서 제공하는 것은 구성 트리에 대한 정비정책, 운영유지비용, 복수개의 성과지표 결과값 등이 해당된다.

4. PIDO기법 적용을 통한 정비정책 분석

본 연구에서는 PIDO 기법의 적용가능성을 판단하기 위하여 PIANo와 ModelCenter 등 2가지 주요 도구에 대하여 분석을 수행하였다.

4.1 입력 자료

입력대상은 LRU(Line Replaceable Unit: 구성품) 33개와 SRU(Shop Replaceable Unit: 모듈) 67개를 적용하였으며, 제약조건은 운용가용도 85 ~ 87%, 비용은 2,725,490 (천원) 이하에서 최소화하는 것을 목표로 선정하였다.

*구분	LRU	*총액명	E
*LCN	E	*당기 LCN	A
*NSN	4	*총액연호	4
*오할거 비율	0	*단가(원/명)	4,000 (원/명)
무게(Kg)	240	*폐기율(%)	1
외주 수리 가능	Y	전달 수리 가능	N
*수리요요시간(시간)	부대	직접	합
	48	720	2,880

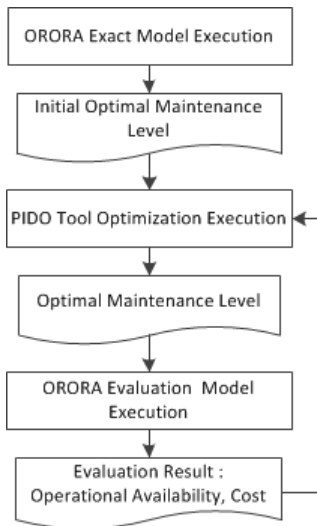
구분	품명	LCN	NSN	총액번호	SMR	부호	오할거 비율(%)	수량(년)	단가(원/명)	무게(Kg)	MTBF(시간)	폐기율(%)	외주수리	교체방법	군입지원정비비용(원/명/년)
원재료	A	A	0	0				30	1,000,000 (원/명)		1,000				
LRU	B	B	1	1			0		2,775 (원/명)	14	1	1	V	N	
수리가능 SRU	C	C	2	2			0		2,200 (원/명)	10	1,200	1	V	N	
수리가능 SRU	D	D	3	3			0		500 (원/명)	4	1,300	1	V	N	
수리가능 SRU	E	E	4	4			0		4,000 (원/명)	240		1	V	N	
수리가능 SRU	F	F	5	5			0		3,800 (원/명)	6	1,500	1	V	N	
LRU	G	G	6	6			0		25,288 (원/명)	17		1	V	N	
수리가능 SRU	H	H	7	7			0		15,000 (원/명)	5	1,700	1	V	N	
수리가능 SRU	I	I	8	8			0		11,000 (원/명)	5	1,800	1	V	N	
LRU	J	J	9	9			0		314,863 (원/명)	414	1	1	V	N	
수리가능 SRU	K	K	10	10			0		50,000 (원/명)	75	2,000	1	V	N	
수리가능 SRU	L	L	11	11			0		50,000 (원/명)	35	2,100	1	V	N	
수리가능 SRU	M	M	12	12			0		200,000 (원/명)	300	2,200	1	V	N	
LRU	N	N	13	13			0		31,000 (원/명)	156	1	1	V	N	
수리가능 SRU	O	O	14	14			0		25,000 (원/명)	50	2,400	1	V	N	
LRU	P	P	15	15			0		110,628 (원/명)	58	1	1	V	N	
수리가능 SRU	Q	Q	16	16			0		90,000 (원/명)	28	2,600	1	V	N	
수리가능 SRU	R	R	17	17			0		20,000 (원/명)	30	2,700	1	V	N	
LRU	S	S	18	18			0		24,428 (원/명)	42	1	1	V	N	
수리가능 SRU	T	T	19	19			0		20,000 (원/명)	30	2,900	1	V	N	
수리가능 SRU	U	U	20	20			0		5,000 (원/명)	12	3,000	1	V	N	
LRU	V	V	21	21			0		45,551 (원/명)	49	1	1	V	N	
수리가능 SRU	W	W	22	22			0		22,500 (원/명)	24	3,200	1	V	N	
수리가능 SRU	X	X	23	23			0		22,500 (원/명)	24	3,300	1	V	N	
수리가능 SRU	Y	Y	24	24			0		2,500 (원/명)	102	3,400	1	V	N	
LRU	B1	B1	25	25			0		2,775 (원/명)	14	1	1	V	N	
수리가능 SRU	C1	C1	26	26			0		2,200 (원/명)	10	3,600	1	V	N	
수리가능 SRU	D1	D1	27	27			0		500 (원/명)	4	3,700	1	V	N	

[Fig. 3] Input Data

사용된 입력 자료는 각 구성품별 단가, 무게, MTBF, 외주수리가능여부 등이 설정되었으며 입력화면의 예시는 Fig. 3과 같다.

4.2 분석 방법

비교 검토는 기존 ORORA 모델에 각 도구의 최적화 알고리즘을 적용하여 수행하였다. 적용된 분석 흐름은 Fig. 4와 같다.



[Fig. 4] Analytical Process of PIDO Tool

초기해를 선정하기 위하여 기존 ORORA의 Exact Model을 수행하여 정비계단을 선정하였다. 이후 각각의 최적해 알고리즘을 적용하여 최적해를 결정한 후

ORORA 모델의 평가모델을 적용하여 성과지표 만족여부를 확인하는 절차를 반복 수행하였다. 결과값으로 최적 정비계단과 운용가용도 및 비용을 제시한다.

적용된 최적화 알고리즘으로 PIANo는 Evolutionary Algorithm (EA)을 선정하였으며, ModelCenter에서는 Dawin Algorithm을 선정하여 동일조건에 적용하였다.

4.3 분석 결과

PIANo와 ModelCenter를 적용한 분석 결과로서 각각의 알고리즘에 대한 기능적, 성능 및 신뢰성 측면의 비교 결과는 Table 2와 같다.

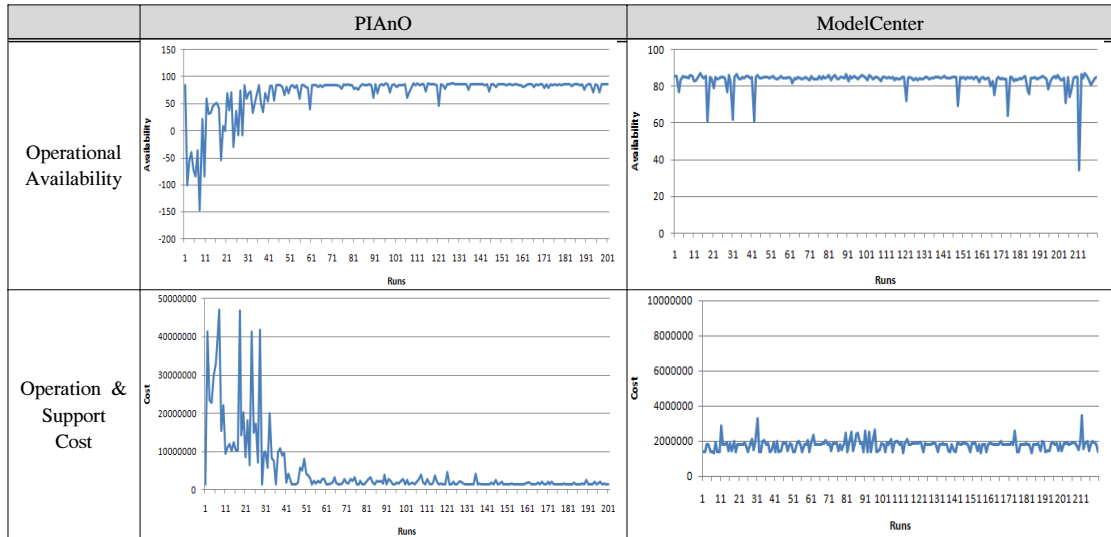
[Table 2] Application Property of PIDO Tool

		PIANo	ModelCenter
Function	Input / Output File Mapping	• Interface simplicity of registration, modification and deletion	• A little difficulty of modification and deletion after initial registration
	Analysis	• Simplicity in querying the history result	• Manually saving the history after execution • Providing various charts after analysis
	Algorithm	• Approximately 2 algorithms are applicable	• Approximately 25 algorithms are applicable
	Screen Response Speed	• Without delay	• A little delay
Performance and Reliability		• Processing speed : 1 sec/run • Searching runs are dependent upon initial solution	• Processing speed : 2 sec/run • Searching runs are dependent upon initial solution

[Table 3] Analytical Result of LINGO/PIDO Tool

# of Component at each Maintenance Level	LINGO					PIAnO					ModelCenter							
		O	F	D	P	C		O	F	D	P	C		O	F	D	P	C
	P	66	1	0	0	0	P	66	1	0	0	0	P	67	0	0	0	0
R	55	1	7	0	4	R	54	2	7	0	4	R	58	8	0	0	0	1
r	7	7	27	0	26	r	7	6	29	0	25	r	13	20	21	6	7	

[Table 4] Optimal Value Trend of PIDO Tools



PIAnO에서는 기능적 측면에서의 수정 인터페이스 및 화면의 반응 속도와 성능 측면의 처리속도에서 장점이 있다. ModelCenter에서는 기능적 측면에서의 다양한 차트제공 및 적용 가능한 다양한 알고리즘이 제공된다. 또한, 두가지 도구의 적용 결과 최적해 산출에는 문제가 없는 것을 확인하였다.

최적해 분석을 통하여 각각의 정비계단에 해당하는 구성품의 숫자는 Table 3과 같다. 정비계단은 군직의 부대(O), 야전(F), 창(D), 폐기(P)와 민수(C)정비로 구분하였다. 최적해의 정비계단 비교결과 완제품(P), 구성품(R), 모듈(r)의 수리 계단수가 기존의 LINGO와 PIAnO 도구에서 유사성을 보여주고 있다.

PIDO 도구의 최적해를 찾아가는 과정에서 비용과 운용가용도 변화 특성은 Table 4와 같다. PIAnO와 ModelCenter에서는 각각 201회와 220회의 탐색횟수를 수행한 후 최적해 결과값을 제시하였다. PIAnO는 초기해로부터 떨어져 있는 서로 다른 영역을 확인한 후 최적해에 수렴한 반면, ModelCenter에서는 초기해 근처를 검색하면서 탐색과정 중 초기해와 떨어져 있는 영역을 검토하면서 최적해에 수렴해 가능 특성을 보여준다.

PIAnO와 ModelCenter의 최적화 알고리즘은 동일한 결과값을 제공하지는 않지만 근사한 최적해를 찾아가고 있음을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 개발단계에서 PBL 개념을 반영한 최적의 수리수준분석을 개선하는 요구사항을 정의하였다. 아울러, PBL 개념을 반영하기 위한 복수개의 성과지표와 제약조건을 고려한 PIDO 기반의 최적화알고리즘 적용 결과를 제시하였다.

개발단계에서부터 성과중심의 군수지원체계를 고려한 정비정책결정을 위하여 설계최적화 기법인 PIDO 기법을 군수모형에 적용 가능성을 확인하였다. 향후, 본 연구의 PIDO 기반 최적화 알고리즘을 적용한 분석적 방법의 PBL 정비정책 결정 모형을 개발하여 적용할 필요가 있다. 아울러, 개발단계에서 정비정책을 고려한 성과지표 요구도 설정 방안을 제시하고자 한다. 이를 통하여 복수의 성과지표를 고려한 성과기반군수계약의 기본 전략 수립에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] The Office of Secretary of Defense, "Designing and Assessing Supportability in DOD Weapon Systems: A Guide to Increased Reliability and Reduced Logistics Footprint", October, 2003.
- [2] Defense Acquisition University, "Performance Based Logistics: A Program Manager's Product Support Guide", March, 2005.
- [3] S. J. Park, "ORORA(Level of Repair Analysis S/W)," ADDT-2007-0257, 2007.
- [4] A. Kaplan, "Mathematics of COMPASS", AMSAA, February, 2011.
- [5] U. D. Kumar, D. Nowicki, J. Ramirez, D. Verma, "A Goal Programming Model for Optimizing Reliability, Maintainability and Supportability under Performance Based Logistics", Intl Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol.14, No. 3 pp. 251-261, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1142/S0218539307002623>
- [6] O. Wijk, T. Olinger, R. Hell, "Simulation as support for decision making in negotiations", 14th annual System Engineering Conference in San Diego, 2011.
- [7] P. Andersson, R. Hell, O. Tengo, O. Wijk, "Better PBL Contracts - An Analytical Approach", Systecon AB, 2013.
- [8] T. Jin, Z. Tian, C. Novoa, "Managing Performance Based Logistics by Balancing Reliability and Spare Parts Stocking", IEEE, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICQR2MSE.2011.5976648>
- [9] J. Cothran, K. Vitasek, "Achieving Success with Performance Based Logistics", DAU and Uni. Of Tennessee, November, 2005.
- [10] J. Cothran, "PBL BCA", DAU, 2004.
- [11] H. J. Ju, J. C. Lee, "On Modeling the PBL Process and the ILS Development from a Life Cycle View with Resultant Enhanced Interrelationship", Journal of the KAIS, Vol.13, No. 10 pp. 4418-4425, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.10.4418>
- [12] DAPA, "Defense Acquisition Program Management Regulation", Instruction 237, 2013.

주 현 준(Hyun-Jun Ju)

[정회원]



- 1993년 2월 : 전남대학교 공과대학 산업공학과 (공학석사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원
- 2011년 8월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 박사과정

<관심분야>

중합군수지원(ILS), 성과기반군수지원(PBL)

이 재 천(Jae-Chon Lee)

[정회원]



- 1977년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 1979년 2월 / 1983년 8월 : KAIST 통신시스템 (석/박사)
- 1984년 9월 ~ 1985년 9월 : 미국 MIT Post Doc 연구원
- 1985년 10월 ~ 1986년 10월 : 미국 Univ. of California 방문연구원
- 1990년 2월 ~ 1991년 2월 : 캐나다 Univ. of Victoria (Victoria, BC) 방문교수
- 2002년 3월 ~ 2003년 2월 : 미국 Stanford Univ. 방문교수
- 1994년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 정교수

<관심분야>

시스템공학, Modeling & Simulation, Systems Safety