Check for updates

Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 52, No. 5, pp. 481-491, October 2026.
ISSN 1225-0988 | EISSN 2234-6457
https://doi.org/10.7232/JKIIE.2026.52.5.481
© 2026 KIIE

예산 제약 하 장교 정년연장 정책 최적화 모형: 제한적 마코프 의사결정과정(CMDP) 기반 접근

이승률 · 김수환†

국방대학교 운영분석 / 군수경영학과

Optimization Model for Officer Retirement Extension Policies under Budget Constraints: A Constrained Markov Decision Process (CMDP) Approach

Seungryul Lee · Suhwan Kim

Department of Operation Research & Logistic Management, Korea National Defense University

This study proposes an optimal implementation strategy for phased officer retirement extension policies to ensure the stability of military personnel structures under demographic changes. While retirement extension enables the effective utilization of experienced personnel, it also introduces constraints such as increased personnel costs and potential congestion across ranks. To address this issue, a constrained Markov decision process (CMDP) model is developed to optimize retirement policies under budget limitations. The proposed model incorporates rank-based promotion rates, separation probabilities, and personnel cost structures into the state transition dynamics, and determines optimal retirement extension policies that maximize long-term operational efficiency within budget constraints. Numerical experiments demonstrate that the CMDP-based approach outperforms simple sequential retirement extension strategies in terms of budget efficiency and personnel stability. In particular, the model contributes to reducing separation rates and strengthening the mid-career officer structure. Sensitivity analysis further reveals that the effectiveness of the policy depends on the level of budget growth, with efficient outcomes observed within a moderate range of budget expansion. The findings suggest that retirement extension policies, when optimized under budget constraints, can serve as an effective tool for sustaining a skilled and stable military workforce. This study provides a quantitative decision-support framework for future defense manpower planning.

Keywords: Constrained Markov Decision Process (CMDP), Dynamic Optimization, Military Personnel Planning, Retirement Policy, Budget Constraints

1. 서 론

우리나라는 저출산 · 고령화에 따른 급격한 인구구조 변화로 심각한 사회 · 경제적 도전에 직면해 있으며, 이는 군 인력 운영 체계에도 중대한 영향을 미치고 있다. Park(2021)의 두 논문은 인구감소로 인한 병력자원 부족에 대응해 병역제도 전반의 재설계와 여성징병제까지 포함한 대안을 검토한 연구로, 하나는 제도 설계 방향을, 다른 하나는 젠더 쟁점과 사회적 수용성을 다룹니다. 특히 병역자원의 핵심인 20세 남성 인구는 2020년 약 33만 명에서 2024년 약 25만 명 수준으로 감소하였으며, 2040년에는 약 13만 명까지 급감할 것으로 전망된다. 이러한 인구 절벽은 상비병력 구조의 근본적인 재편과 간부 중심 · 기

† 연락저자 : 김수환 교수, 33021, 충청남도 논산시 양촌면 황산벌로 1040, 국방대학교 운영분석/군수경영학과, Tel : 041-831-5372, E-mail : ksoohwan@gmail.com
2026년 4월 28일 접수; 2026년 6월 19일, 2026년 7월 2일 수정본 접수; 2026년 7월 2일 게재 확정.

술 기반 전력구조로의 전환을 요구하는 구조적 환경 변화를 야기한다.

그러나 최근 군 인력 운영에서는 인력 부족과는 상반된 형태의 역설적 문제가 발생하고 있다. 최근 언론 보도(Jang, 2024)에 따르면 2023년 군인 인건비 불용액은 약 3,098억 원으로 최근 6년 중 최대 수준을 기록하였으며, 이 중 약 1,888억 원이 장교 · 부사관 인건비에 해당한다. 이는 계획 대비 많은 간부 인력이 조기 전역함에 따라 실제 인력 규모가 급감한 데 기인한다. 이러한 간부 이탈은 정년 보장에 대한 불확실성, 진급 정체에 따른 경력 전망 악화 등 복합적인 요인에 의해 발생하며, 결과적으로 숙련 인력 유지 실패와 전투력 약화라는 비효율로 이어지고 있다.

이에 국방부는 「국방혁신 4.0 기본계획」을 통해 정년 연장을 핵심 정책 수단으로 논의하고 있다. 정년 연장은 숙련 인력의 활용 기간을 확대하여 교육 비용 절감과 전투력 유지에 기여할 수 있으나, 동시에 상위 계급 체류 기간 증가에 따른 진급률 저하 및 조직 피라미드 구조 왜곡 등의 부작용을 초래할 가능성도 존재한다. 실제로 2024년 소령 정년 연장 이후 계급 간 연동 구조 속에서 발생하는 동태적 파급 효과가 관측되고 있으며, 이는 정년 정책을 단순 정태적 분석이 아닌 시스템적 관점에서 다루어야 함을 시사한다.

1.1 관련 선행연구 및 본 연구의 차별성

국방 인력 구조 및 정년 정책에 관한 기존 연구들은 인구 감소에 따른 구조 전환의 필요성이나 특정 시나리오 하에서의 재정적 효과 분석에 초점을 맞추어 왔다(Kang, 2024; Lee *et al.*, 2022). 그러나 정책 선택이 미래 상태에 누적 영향을 미치는 구조적 특성을 반영한 확률적 의사결정 모형은 충분히 제시되지 않았다. 본 연구는 마코프 결정 과정(Markov Decision Process, MDP)을 활용하여 군 인력의 동태적 흐름을 분석했다는 점에서 선행연구들과 방법론적 기초를 공유하나, 다음과 같은 차별성을 가진다. 첫째, 의사결정 주체와 최적화 목적의 확장이다. Zais and Zhang(2016)은 미 육군 데이터를 바탕으로 개별 군인의 잔류 및 전역(Stay-or-Leave) 의사결정을 분석하는 '개인 효용 최적화'에 집중하였다. 반면 본 연구는 조직 전체의 안정성을 도모하는 '정책 최적화' 관점을 취하며, 정년 연장이라는 제도적 변화가 계급 구조와 진급률에 미치는 파급 효과를 분석한다. 둘째, 동태적 정책 결정과 제약 조건의 통합이다. Abdessameud *et al.*(2018)은 흐름 네트워크(Flow Network)를 통해 군 인력의 법적 논리(Statutory logic)와 역량 논리(Competence logic) 통합을 시도했으나, 이는 주로 정적인 목표 분포 도달에 가깝다. 본 연구는 '국방 예산 총액'을 엄격한 제약 조건으로 명시하고, 정책 선택이 장기간에 걸쳐 인력 분포에 미치는 영향을 동태적으로 분석하는 제한적 마코프 의사결정과정(CMDP) 모형을 구축하여 현실성을 높였다. 셋째, 한국 군의 특수성을 반영한 실무적 가치이다. 본 연구는 최근 시행된 소령 정년 연장(45세→50세) 데이터를 실증적으로 반영한다. 특히 연령 증가에 따른 전역률의 병행 이동(Parallel Shift) 및 예산 제약 하에서의 단계적 이행 전략을 수리적으로 도출함으로써, 실제 국방 정책 수립에 즉각적으로 활용 가능한 의사결정 지원 도구를 제공한다는 점에서 독창성을 가진다.

1.2 연구 목적 및 구성

본 연구의 목적은 계층적 인력 시스템에서의 정년 정책 문제를 동태적 의사결정 관점에서 분석하고 최적의 정책 대안을 정량적으로 제시하는 것이다. 이를 위해 장교 인력구조를 계급-연령 기반 집계 상태로 정의한 Aggregated CMDP 모형을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 제안하는 CMDP 모형의 구조와 상태 전이 확률, 목적 함수 및 제약 조건을 상세히 기술한다. 제3장에서는 한국 군 데이터를 활용한 수치 실험 결과를 제시하고, 마지막으로 제4장에서는 연구의 결론 및 정책적 시사점을 논의한다.

2. 장교 계급별 복무 데이터 분석

본 연구는 KIDA(한국국방연구원)에서 발간한 2021 국방 인력운영 분석과 전망 연구보고서 내용 중 1991~2020년 장교 인사자료를 활용하여 계급별 인력 분포, 진급인원, 전역인원 및 평균 전역연령을 분석하였다.

2.1 장교인력의 인력 분포

<Figure 1>은 우리 군의 전형적인 '피라미드형 구조'를 시각적으로 잘 보여준다. 나이 및 계급별 인원수를 보면 대위, 소령, 중령, 대령으로 인원수가 점점 줄어든다.

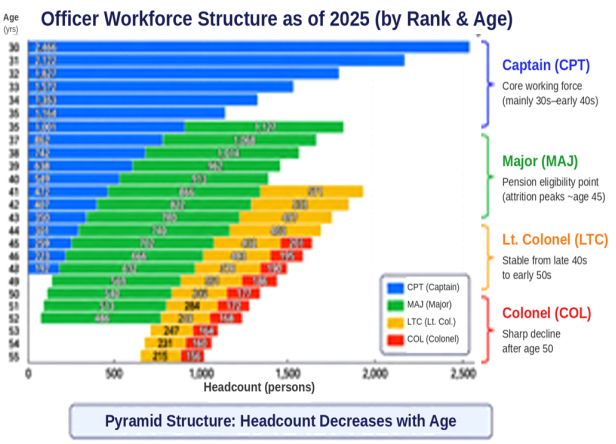


Figure 1. Current Military Officer Personnel Structure (2025)

현재 장교단은 40대 초반 이후 정년 도달로 인해 인력이 급감하는 피라미드 구조를 띠고 있으며, 이는 핵심 실무 인력과 숙련된 경험의 조기 유실을 의미한다. 정년 연장 시 45~55세 구간의 인력 가용성이 확대되어 조직 구조가 '피라미드형'에서 '항아리형(Bell-shape)'으로 전환될 수 있는 높은 잠재력을 시사한다.

2.2 계급별 전역 패턴 분석

<Figure 2>는 계급별 전역 패턴의 차이를 보여준다. 소령은 연금 수혜권 확보 시점(45세)을 앞두고 자발적 유출이 집중되는 반면, 중령은 해당 시기 1차 유출 이후 정년(53세)까지 안정적인 복무 흐름을 유지한다. 대령은 50세 이후 전역률이 지수함수적으로 급증하는데, 이는 자발적 선택보다 계급 및 연령 정년 등 제도적 제약에 의한 강제적 이탈이 가속화된 결과로 분석된다.

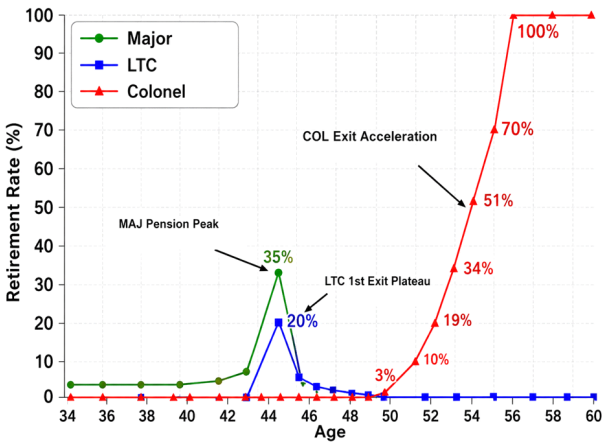


Figure 2. Historical Retirement Rates by Age and Rank

2.3 계급별 진급률 패턴 분석

<Figure 3>는 장교단 진급은 특정 연령대에 집중되는 경향을 보인다. 대위→소령은 34~35세, 소령→중령은 39~40세에 주력 구간이 형성되며, 중령→대령은 47세까지 5% 이내의 진급률을 보인다. 따라서 대부분은 진급 적기를 놓치게 되면 차후 계급 진출이 어려운 구조의 패턴을 보인다.

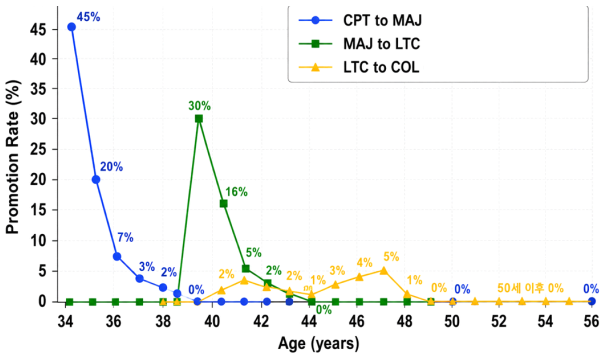


Figure 3. Revised Promotion Rates by Age

2.4 전이확률 파라미터 생성

본 연구에서 사용한 원자료는 연도별 계급 단위로 제공되므로, 마코프 의사결정과정(MDP)에서 요구하는 계급 - 연령별 상태전이확률을 직접 제공하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 과거 인사자료를 기반으로 장교의 전형적인 복무경로를 재구성하고, 이를 통해 계급 - 연령별 기준 현원과 전이확률을 추정하였다.

우선 계급별 인원 분포와 평균 전역연령을 이용하여 대위, 소령, 중령, 대령의 연령별 기준 현원(count)을 산출하였다. 이후 동일 계급 내 특정 연령 집단에서 상위 계급으로 이동한 인

Table 1. Baseline State Transition Probabilities by Rank and Age

years	CPT			MAJ			LTC			COL	
	count	promotion	retire	count	promotion	retire	count	promotion	retire	count	retire
28	2,466		0%	0			0			0	
29	2,122		5%	0			0			0	
30	1,827		15%	0			0			0	
31	1,572		50%	0			0			0	
32	1,353		15%	0			0			0	
33	1,164		5%	0			0			0	
34	1,001	45%	5%	1,127		3%	0			0	
35	862	20%	3%	1,068		2%	0			0	
36	742	7%	1%	1,014		2%	0			0	
37	638	3%	1%	962		3%	0			0	
38	549	2%	0%	913		8%	0			0	
39	472		0%	866	30%	4%	571			0	
40	407		0%	822	16%	3%	533			0	

Table 1. Baseline State Transition Probabilities by Rank and Age (Continued)

years	CPT			MAJ			LTC			COL	
	count	promotion	retire	count	promotion	retire	count	promotion	retire	count	retire
41	350			780	5%	10%	497	2%		0	
42	301			740	3%	4%	463	3%		0	
43	259			702	2%	11%	432	2%		201	
44	223			666		13%	403	3%		195	
45	192			632		36%	376	3%	20%	190	0%
46	0			600		1%	351	4%	9%	186	0%
47	0			569			327	5%	5%	181	0%
48	0			540			305	1%	3%	177	1%
49	0			513			284	0%	2%	172	4%
50	0			486			265	2%	1%	168	9%
51	0			0			247			164	19%
52	0			0			231			160	34%
53	0			0			215			156	51%
54	0			0			0			152	65%
55	0			0			0			148	70%
sum	16,500			13,000			5,500			2,250	

원의 비율을 진급확률(promotion)로 정의하고, 군 조직을 이탈한 인원의 비율을 전역확률(retire)로 정의하였다. 또한 특정 연령에서 진급과 전역이 모두 발생하지 않은 경우에는 잔류확률(stay probability)을 적용하였다.

이를 통해 각 장교 집단은 매년 진급, 전역, 잔류 중 하나의 상태전이를 경험하도록 구성하였다.

<Table 1>은 이러한 절차를 통해 생성된 기준 상태전이확률을 나타낸다. count는 해당 계급 - 연령 집단의 기준 현원, promotion은 상위 계급으로 진급할 확률, retire는 전역할 확률을 의미한다. 공란은 해당 연령대에서 해당 계급의 현원이 존재하지 않거나 전이가 발생하지 않는 경우를 의미한다. 생성된 전이확률은 이후 제3장의 Aggregated Markov Decision Process 모형에서 상태전이행렬의 기초 파라미터로 활용된다.

3. 연구 모형

<Figure 4>는 본 연구에서 제안하는 Aggregated CMDP 모형의 상태 전이 구조를 시각적으로 나타낸 것이다. 각 노드는 특정 계급 r과 연령 a의 조합으로 정의되는 집계 상태 (*r,a*)를 의미하며, 동일 계급 내에서 연령이 증가하는 방향으로 배열되어 있다. 상태 간 전이는 크게 잔류(Retention), 진급(Promotion), 전역(Retirement)의 세 가지로 구분된다. 본 연구에서는 Retirement를 정년퇴직뿐 아니라 자발적·비자발적 전역을 포함하는 조직 이탈(Exit)의 포괄적 개념으로 정의한다.

특히 본 모형에서는 정책 변수에 의해 정년이 연장될 경우, 기존 정년 이후 구간에 해당하는 상태들이 추가적으로 활성화되며, 이는 그림에서 음영으로 표시된 “Extended Retirement Limit” 영역으로 표현된다. 해당 영역은 정책 결정에 따라 확장되며, 정년 연장에 따른 인력 유지 효과를 반영한다. 각 상태에서의 전이 확률은 계급 및 연령에 따른 기본 진급 확률 및 전역 확률에 의해 결정되며, 정책 변수에 따라 동적으로 조정된다. 특히 상위 계급 체류 인원이 증가할 경우 하위 계급의 진급 확률이 감소하고 전역 확률이 증가하는 구조적 상호작용을 반영한다. 또한, 계급별 정원 조정(TO adjustment)은 특정 상태로 유입되는 인력 규모를 조절하는 방식으로 전이 구조에 간접적으로 영향을 미친다. 이를 통해 정년 연장으로 인해 발생할 수 있는 진급 병목 현상을 완화할 수 있다.

3.1 상태 공간 및 행동 정의

상태 공간(State Space, S)은 각 상태 $s \in S$는 계급 r과 근속연령 a의 조합인 (r,a)로 정의된다. 본 연구에서 상태는 특정 시점에서의 인력 구조를 나타내며, 계급과 연령을 기준으로 집계된 상태로 정의한다.

$$S_t = \{N_{r,a}(t)\}$$

- $r \in \{CPT, MAJ, LTC, COL\}$
- a : 해당 계급 집단의 나이
- $N_{r,a}(t)$: 연도 t에서 계급 r, 나이 a인 집단의 수

본 연구에서 사용되는 계급 표기는 NATO 및 미군식 약어 체계를 준용하여 대위(CPT, Captain), 소령(MAJ, Major), 중령(LTC, Lieutenant Colonel), 대령(COL, Colonel)로 통일하였다. 개별 장교 단위가 아닌 집단 단위 상태를 사용함으로써 상태 공간의 차원을 줄이고, 현실적인 인력구조를 반영할 수 있도록 하였다. 또한 정년 연장 정책을 고려하여 각 계급의 상태 공

간은 최대 60세까지 확장하여 정의한다.

3.2 행동(Action)의 정의

본 연구의 정책 행동은 정년 조정과 계급별 정원 조정으로 구성된다.

$$A_t = \{A_t^R, A_t^{TO}\}$$

즉, 연도 t의 정책결정은 정년연장과 계급별 정원조정을 동시에 선택하는 행동벡터이다.

$$A_t^R = \{\triangle R_{r,t}\}$$

여기서 $\triangle R_{r,t}$는 연도 t에 계급 r의 정년을 얼마나 추가로 연장할 것인지를 의미한다. 본 연구의 정책 목표는 2040년까지 각 계급 정년을 60세까지 단계적으로 연장하는 것이므로, 각 연도의 행동은 누적적으로 반영된다.

$$A_t^{TO} = \{\triangle\ TO_{r,t}\}$$

또한 정년 연장으로 인해 발생할 수 있는 진급 병목 현상을 완화하기 위해 계급별 정원 조정 행동을 포함한다.

3.3 상태전이(Trainsition)구조

본 연구에서 상태전이는 잔류, 진급, 전역으로 세 가지로 이루어진다. 잔류(Retention)는 동일 계급에서 다음 해 한 살 더 많은 상태로 이동하는 경우, 진급(Promotion)은 상위 계급으로 진입하면서 다음 해 나이가 1 증가하는 경우, 전역(Retirement)은 군 조직을 이탈하여 상태 공간 밖으로 이동하는 경우이다. <Table 2>는 각 해당 전이상태의 정의이다.

Table 2. Definition of State Transitions in the CMDP Model

State Transition	Mathematical Definition
Retention	$(r,a) \rightarrow (r,a+1)$
Promotion	$(r,a) \rightarrow (r+1,a+1)$
Retirement	$(r,a) \rightarrow EXIT$

각 전이 확률은 계급 및 연령에 따른 승진 확률 $p_{r,a}$와 전역 확률 $q_{r,a}$에 의해 결정된다.

$$P_{stay} = 1 - p_{r,a} - q_{r,a}$$

본 연구에서는 승진 및 전역 확률이 고정값이 아니라 정책 변수(정년 연장, 정원 변화)에 따라 동적으로 변화하는 것으로 가정한다. 이는 상위 계급 체류 증가가 하위 계급의 진급 기회를 제한하고, 이에 따라 전역률이 증가하는 구조적 상호작용을 반영하기 위함이다.

3.4 목적함수

본 연구는 전역률 최소화를 핵심 목적함수로 설정한다. 이에 대한 논거는 다음과 같다. 첫째, 장교 인력의 비대체성이다. 장교는 장기간의 교육·훈련과 실무 경험을 통해 전문성을 축적하므로, 중간 계급 이상의 전역은 조직의 숙련도에 대한 비가역적 손실을 의미한다. 둘째, 구조적 전역의 정책 교정 가능성이다. 제2장의 분석 결과, 소령·중령의 전역은 개인적 요인보다 진급 병목과 정년 제도라는 구조적 요인에 의한 이탈 성격이 강하게 나타났으며, 이는 정년 연장과 정원 조정이라는 정책 행동으로 전역률을 직접 통제할 수 있음을 의미한다. 셋째, 신규 유입이 고정된 조건에서 전역률 최소화는 총 인력 규모의 극대화와 동치 관계에 있다. 이에 따라 본 연구의 목적함수는 다음과 같이 정의된다.

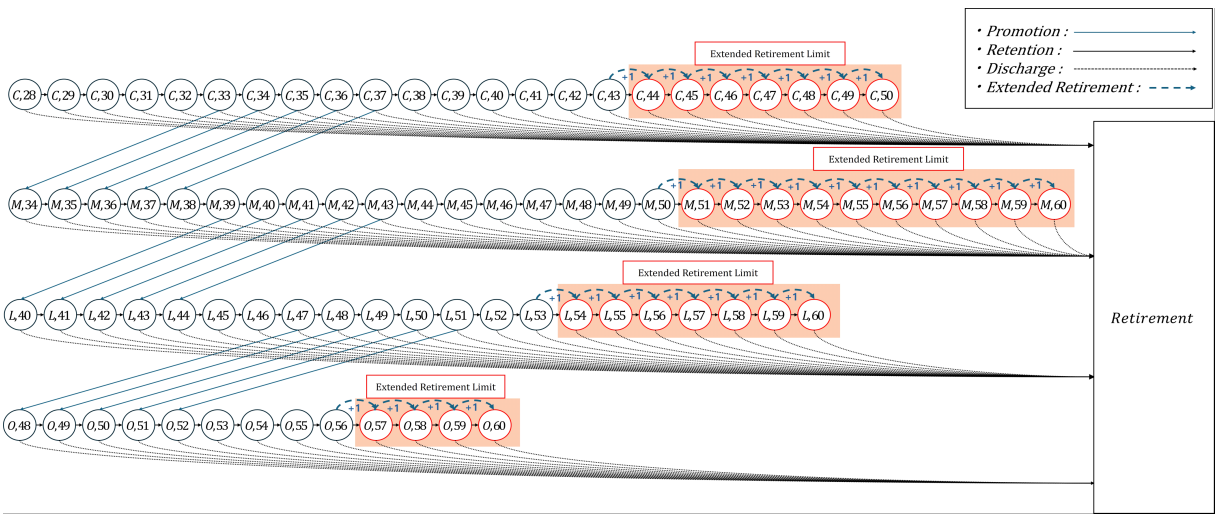


Figure 4. State Transition Mechanism in the Aggregated CMDP Model

$$\min Z = \sum_{t=2025}^{2040} \sum_{s \in S} Pop(s,t) \cdot \epsilon(s, A_t)$$

- $Pop(s,t)$: t년도 상태s의 인원수
- $\epsilon(s, A_t)$: 정책 A_t에 따라 보정된 전역률

즉, 2025년부터 2040년까지 전체기간 동안 누적 전역률을 최소화하는 정년 연장 정책을 찾는 것이다.

3.5 제약조건

본 연구는 전역률 최소화를 추구하더라도, 현실적 제약을 무시한 정책은 허용하지 않는다. 따라서 본 연구모형은 다음의 제약조건을 포함한다.

(1) 예산 제약

연간 총 인건비의 전년 대비 증액률은 사전에 설정된 예산 한도를 초과할 수 없다. 단, 국방통계연보에 따라 장교 인건비 중 각종 수당의 합은 봉급 대비 약 35~40%를 차지하고 있어 제수당 복리계수는 1.4가 타당하다. 따라서 봉급에 이 계수를 곱하여 총 인건비를 추산한다.

$$\frac{\sum_{s \in S} Pop(s,t+1) \cdot Cost(s,t+1)}{\sum_{s \in S} Pop(s,t) \cdot Cost(s,t)} \leq 1+\gamma$$

- $Cost(s,t+1) = Salary(r,a) \cdot (1+\pi)^t \cdot 1.4$
  (π: 물가상승률 1.5% 고정, 1.4: 제수당 복리계수)

(2) 진급률 제한

정년 연장은 상위 계급의 체류 기간을 늘려 하위 계급의 진급 적체를 유발하는 Trade-off 관계에 있다. 본 연구의 CMDP 모형은 이러한 병목 현상을 방지하기 위해, 정년 연장 시나리오 하에서도 최소 진급률(Minimum Promotion Rate)을 유지하도록 제약 조건을 설정한다. 이는 조직의 활성도를 유지하고 우수 인력의 이탈을 방지하기 위한 정책적 마지노선으로 작용하며, 모델은 이 제약 하에서 최적의 정년 연장 속도와 정원 조정(Quota Adjustment) 행동을 도출한다

$$P_{prom,t}(r \rightarrow r+1) \geq \tau \cdot P_{prom,0}(r \rightarrow r+1)$$

- τ: 0.9~1.0

(3) 전역률 조정

대위계급의 정년이 45세 이상으로 연장될 경우, 현재 측정된 소령의 전역률을 사용한다. 마찬가지로 소령이 정년 연장 되어 53세가 되면 현재 중령의 전역률을 사용하며 중령이 정년 연장 되어 56세가 되면 대령의 전역률을 사용하는데 만약 소령이 정년 연장 되어 56세 이상이 되더라도 대령의 전역률을 사용한다.

즉, <Table 3>에 수식처럼 정년 연장된 나이대별로 현재 측정된 전역률을 준용해서 제약식으로 사용한다. 각 계급의 정년 연장 연령이 상위 계급의 현행 정년 지점에 도달할 경우, 해당 계급의 전역률은 상위 계급의 실측 누적 데이터로 즉시 전환되는 것을 원칙으로 한다.

Table 3. Dynamic Transition Logic for Exit Probabilities

Rank	Applied Probability Logic
CPT (Captain)	$P_{exit}(CPT,a,L) = \begin{cases} P_{base}(MAJ,a) & \text{if } L \geq 45 \\ P_{base}(CPT,a) & \text{if } L < 45 \end{cases}$
MAJ (Major)	$P_{exit}(MAJ,a,L) = \begin{cases} P_{base}(LTC,a) & \text{if } L \geq 53 \\ P_{base}(MAJ,a) & \text{if } L < 53 \end{cases}$
LTC (Lt. Colonel)	$P_{exit}(LTC,a,L) = \begin{cases} P_{base}(COL,a) & \text{if } L \geq 56 \\ P_{base}(LTC,a) & \text{if } L < 56 \end{cases}$
COL (Colonel)	Parallel Shift of the current $P_{exit}(COL,a)$ distribution

(4) 정책적 정년 상한 제약

본 연구의 CMDP 모형은 무한한 정년 연장이 아닌, 국방 인력 정책의 현실적 목표치를 반영하여 각 계급별 최종 정년 상한($Age_{\max,r}$)을 다음과 같이 설정한다.

$$a \leq Age_{\max,r}, \quad \forall r$$

이 제약은 정책 행동(a_t)이 매년 누적되어 정년을 연장하더라도, 특정 연령 이상으로는 확장되지 않음을 보장한다. 본 연구에서는 대위는 50세, 소령~대령은 60세로 한정하여 현실성 있는 시뮬레이션결과가 나오도록 한다.

3.6 Bellman 방정식 기반 정책 최적화

CMDP 모형은 다음의 Bellman 방정식을 기반으로 최적 정책을 도출한다.

$$V_t(S_t) = \min_{A_t} [C(S_t,A_t) + \sum_{S_{t+1}} P(S_{t+1} \mid S_t, A_t)\, V_{t+1}(S_{t+1})]$$

- $V_t(S_t)$: 시점 t에서 상태 S_t의 가치함수
- $C(S_t,A_t)$: 해당 상태 및 행동에서 발생하는 비용 또는 전역률
- $P(S_{t+1} \mid S_t, A_t)$: 상태 전이 확률

이 방정식을 통해 각 시점에서의 최적 정책 A_t^*를 도출할 수 있다.

3.7 모형의 특징 및 해석

본 연구에서 제안한 모형은 다음과 같은 특징을 가진다. 첫째, 계층적 인력 구조를 반영한 집계형 MDP 구조를 통해 현실적인 인력 흐름을 모델링한다. 둘째, 정년 정책, 진급 구조, 전역률, 인건비를 통합적으로 고려하여 정책 간 상호작용을 반영한다. 셋째, CMDP 구조를 통해 예산 및 제도적 제약을 반영한 현실적인 정책 분석한다. 넷째, 시뮬레이션 기반 접근을 통해 다양한 정책 시나리오를 비교·분석할 수 있다.

4. 실험결과 및 분석

실험은 2025년부터 2040년까지 15년간의 인력 변화를 추적하며, 매년 최적의 의사결정을 내리는 동적 시뮬레이션 방식을 채택하였다. 단일 결과의 한계를 극복하기 위해 예산 증액 상한선으로 민감도 분석을 수행하였다. 이를 통해 정년 연장 정책이 실효성을 갖기 위한 '최소 예산 임계점'을 과학적으로 도출한다.

4.1 실험 환경 및 시나리오 설정

본 연구에서는 2025년 한국군 장교 인력 현황 데이터를 초기 상태로 설정하고, 2040년 인구 절벽 위기 대응을 위한 최적 정년 연장 로드맵을 도출하였다. 시뮬레이션의 주요 파라미터는 <Table 4>와 같다.

Table 4. Model Parameters and Constraints for Simulation

Category	Variable/Constraint	Value / Logic
Basic Economic Variables	Inflation Rate	2.0% per annum
	Salary Step Increase (Step-up)	3.0% per annum
Budgetary Constraints	Annual Personnel Cost Growth Limit	Within 3.0% - 10.0%
Transition Logic	Promotion Rate by Rank	Maintained at current levels
	Personnel Capacity Policy	Over-capacity allowed (Flexible quota)

4.2 민감도 분석

예산 상한을 3.5%에서 10%까지 0.5% 단위로 증액하며 시뮬레이션한 결과, <Figure 5>에서 예산 상한 5% 이상부터 2040년 총원이 수렴하는 '정책적 포화 상태'가 관찰되었다. 이는 대위 정년 상한(50세) 등 제도적 제약 내에서 도달 가능한 최대 인력 확보 임계치를 의미하며, 연간 5% 수준의 예산 증액만으로도 과도한 재정 투입 없이 최적의 장교 인력 구조를 달성할 수 있음을 시사한다.

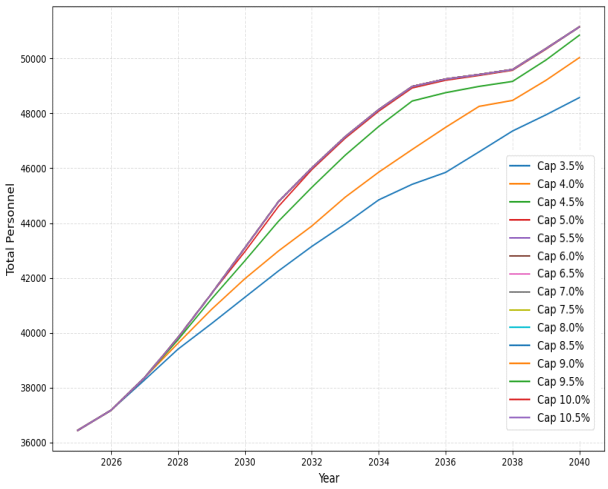


Figure 5. Total Personnel Sensitivity to Annual Budget Cap(3% to 10%)

(1) 계급별 인원 전이 및 항아리형 구조로의 전환

<Figure 6>과 같이 대위 인원이 늘어나면 일정 시차를 두고 소령과 중령 인원이 따라 올라가는 현상이 발생하는 것과 대령인원이 급격히 튀지 않고 2,800~3,300명 선에서 안정화되는 것으로 보아 진급률과 전역률 평행이동 제약으로 모델에 적용이 잘되고 있다는 증거이다. 본 모델은 각 계급별 진급·전역 제약 조건을 엄격히 반영하여 조직의 활력과 안정성을 동시에 달성하였다.

대위 계급은 정책 초기 정년 연장이 우선 적용됨에 따라 인원이 급격히 확보되나, 50세 상한선에 도달하는 2030년 이후 약 2.1만~2.3만 명 수준에서 평형 상태를 유지하며 무분별한 팽창을 억제한다.

소령 계급은 예산 확보에 따른 정년 연장과 대위급에서의 안정적 진급 유입이 맞물려, 소령 인원은 2040년까지 약 43%(12,092명 → 17,297명) 증가하며 중간 관리층의 공동화 현상을 성공적으로 방어한다.

중령 계급은 정년의 대폭 연장(53세→60세)과 하위 계급의 풍부한 유입이 결합되어 2040년 기준 약 2배(5,583명 → 9,052명)에 가까운 증가율을 보인다. 이는 핵심 참모 및 지휘 기능을 담당하는 영관급 장교단이 두텁게 형성되는 '항아리형 인력 구조'로의 성공적인 변모를 수치로 증명한다.

대령계급은 하위 계급의 인원 폭증에도 불구하고, 엄격한 진급 제약과 전역률 보정 로직이 작동하여 대령 인원은 3,300명 수준 내에서 안정화된다. 이는 조직의 비대화를 방지하고 지휘권의 연속성을 고려한 다중 제약 최적화의 결과이다.

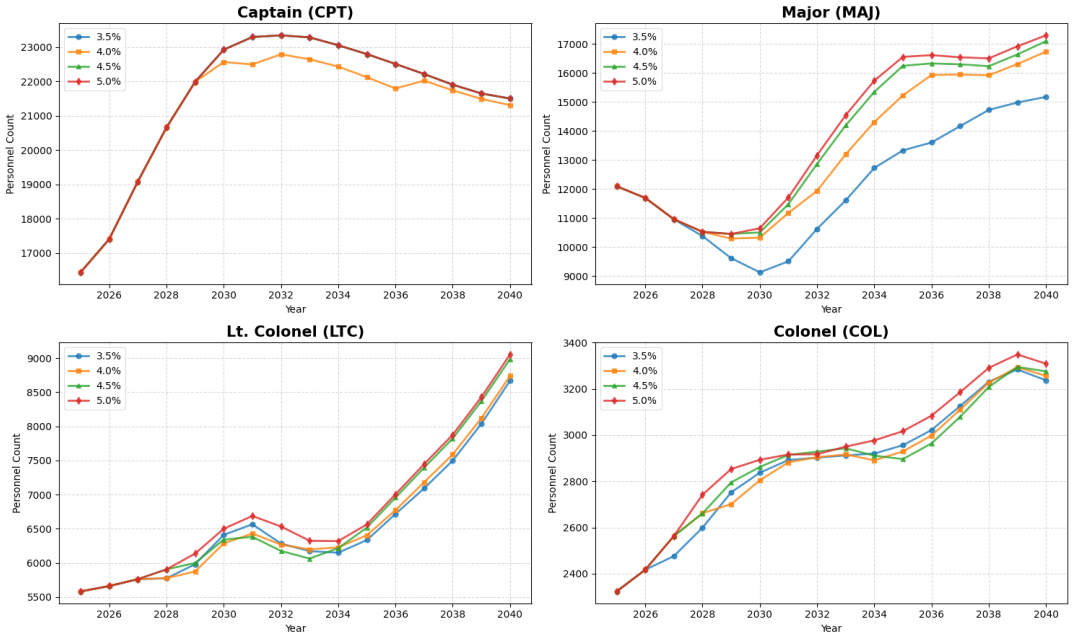


Figure 6. Annual Personnel Trends by Rank under Different Budget Ceilings

4.3 예산상한시 실험결과 : 5%

본 시뮬레이션 결과 <Figure 7>에 보이는 그래프와 같이 연간 예산 증액 상한선을 5.0%로 설정하였을 때 국방 인력의 양적 확보와 질적 숙련도 향상이 가장 조화롭게 나타났다. 특히, 소령과 중령 계급의 안정적인 우상향 곡선은 정년 연장 정책이 인구 절벽에 따른 초급 장교 유입 감소를 상쇄할 수 있는 실질적인 대안임을 입증한다.

<Table 5>의 결과표를 보면 5%의 예산 상한선으로 할시 정년연장이 60세에 도달하는 시기는 대령이 2028년, 중령 2031년, 소령 2035년에 도달하며 대위는 2032년에 정년연장이 50세로 도달한다. 또한 2025년에 3만 7천여 명이었던 대위~대령 계급의 인원이 2040년에는 5만 3천여 명으로 약 1만 6천명의 증가한 수치를 보이며 이는 143% 상승 수준이다. 결론적으로 5.0%의 예산 상한선은 조직의 재정적 지속 가능성과 전투력 유지라는 두 마리 토끼를 잡을 수 있는 정책적 가이드라인으로 제시될 수 있다.

Table 5. Simulation Results of Personnel Structure and Budget by Year (5% Growth Scenario)

Year	Total Strength	Annual Retirement	Budget Growth Rate	Personnel Cost	Retirement Age			
					CPT	MAJ	LTC	COL
2025	37430	1863	0	3068.1	44	51	54	57
2026	38546	1349	3.69	3231.9	45	52	55	58
2027	40046	966	4.61	3408.6	46	53	56	59
2028	41692	819	4.93	3595	47	54	57	60
2029	43024	1134	4.07	3794.8	48	54	58	60
2030	44465	1024	4.62	3991.8	48	55	59	60
2031	46099	831	4.95	4197.2	49	56	60	60
2032	47731	834	4.83	4388	50	57	60	60
2033	48975	1221	4.02	4589.7	50	58	60	60
2034	50093	1347	3.84	4798.1	50	59	60	60
2035	51030	1529	3.59	4946.2	50	60	60	60
2036	51497	1999	2.60	5093.5	50	60	60	60
2037	51941	2021	2.56	5222.9	50	60	60	60
2038	52297	2110	2.39	5347.2	50	60	60	60
2039	52745	2018	2.63	5466.3	50	60	60	60
2040	53314	1896	2.86	5612.2	50	60	60	60

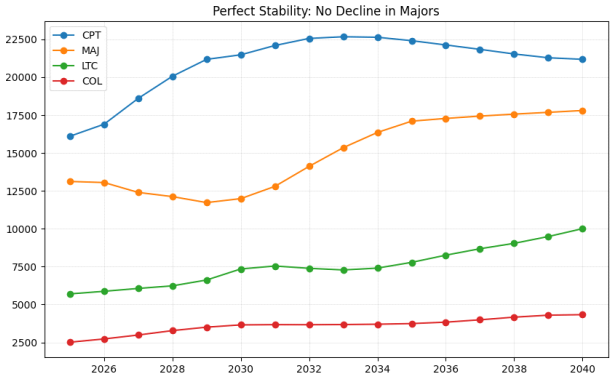


Figure 7. Personnel Trends by Rank under a 5% Budget Ceiling

4.4 정책 시나리오 비교

<Figure 8>은 정년을 연장하지 않을 경우(S0)와 정년 연장 정책을 적용한 4가지 시나리오(A~D)의 총원 추이를 비교한 것이다. <Table 6>은 시나리오별 특징을 요약하는 표이다.

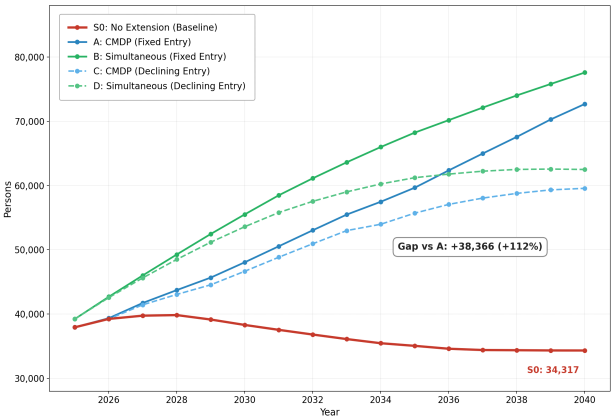


Figure 8. Total Officer Strength: Policy Scenarios vs. No-Extension Baseline

Table 6. Definition of Policy Scenarios (S0, A – D)

Scenario	Policy	Entry Assumption
S0	No Extension	Fixed New Entry
A	CMDP Optimization	Fixed New Entry
B	Simultaneous Extension (All Ranks)	Fixed New Entry
C	CMDP Optimization	Declining New Entry
D	Simultaneous Extension (All Ranks)	Declining New Entry

S0 시나리오는 2028년 39,828명을 정점으로 지속적으로 감소하여 2040년에는 34,317명까지 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 2025년 대비 약 9.5% 감소한 수치로, 신규 인력 유입만으로는 기존 숙련 인력의 자연 전역을 상쇄할 수 없음을 보여준다. 반면 정년 연장을 적용한 모든 시나리오는 2040년 기준 59,558명(C, 가장 낮은 경우)에서 77,578명(B, 가장 높은 경우) 사이를 기록하여, S0 대비 최소 25,241명(+74%)에서 최대 43,261명(+126%) 더 많은 인력을 확보하였다. 이러한 결과는 정년 연장 정책이 인구 절벽에 따른 신규 인력 감소를 보완하는 데 필수적임을 정량적으로 입증한다. 시나리오 간 비교에서는 동시연장(B, D)이 CMDP 최적화(A, C)보다 더 많은 인력을 확보하는 것으로 나타났다. 신규유입이 고정된 경우 그 격차는 4,895명(B-A, 6.7%)이었으나, 인구절벽이 반영된 경우 격차는 2,934명(D-C, 4.9%)으로 축소되었다. 이는 신규 유입 감소라는 외부 충격이 정책 방식의 차이보다 총원 규모에 더 본질적인 제약으로 작용함을 시사한다.

<Figure 9>는 4가지 시나리오의 연간 예산 증가율을 비교한 결과이다. 동시연장 시나리오(B, D)는 2026년에 각각 10.29%, 10.05%로 매우 높은 초기 예산 부담을 보이는데, 이는 4개 계급의 정년을 일괄적으로 연장함에 따라 잔류 인원이 일시에 급증하기 때문이다. 이후 예산 증가율은 점진적으로 감소하여 2040년에는 4.19%, 2.14% 수준까지 낮아진다. 반면 CMDP 최적화 시나리오(A, C)는 5% 기준선을 중심으로 4.7%에서 5% 사이를 오르내리며 비교적 안정적인 예산 집행 패턴을 보인다. 이는 CMDP 최적화가 매년 예산 제약 하에서 최적 행동을 재탐색하는 동적 구조를 가진 반면, 동시연장은 사전에 정해진 규칙에 따라 정년을 일괄 연장하기 때문에 발생하는 차이이다. 즉 동시연장이 장기적으로 더 많은 인력을 확보할 수 있으나, 도입 초기에 상당한 재정 부담이 수반됨을 알 수 있다.

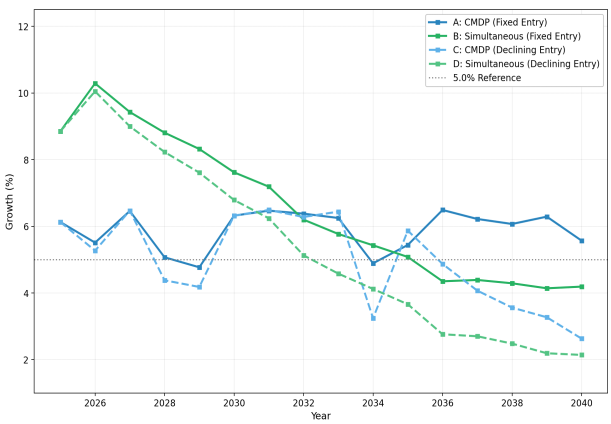


Figure 9. Annual Budget Growth Rate by Scenario

<Figure 10>은 계급 전이별(대위→소령, 소령→중령, 중령→대령) 진급률을 4가지 시나리오에 대해 비교한 것이다. 세 가지 진급률 모두 시점에 따라 순차적으로 급등과 급락을 반복하는 비동기적 패턴을 보였다. 대위→소령 진급률은 2028~2029년에 2025년 기준(4.38%)보다 낮은 2.5~2.8% 수준까지 하락한 이후 2032년부터 6%대로 회복되었으며, 소령→중령 진

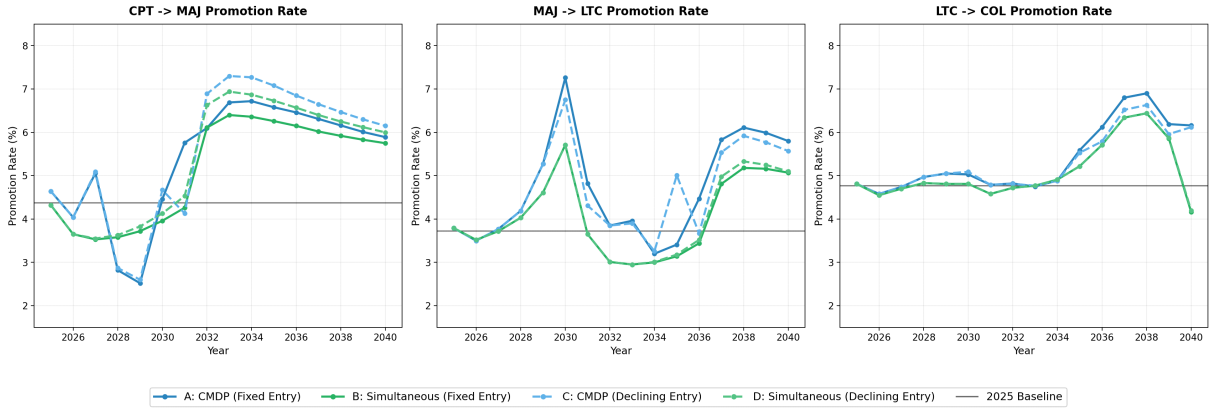


Figure 10. Promotion Rate Comparison across 4 Scenarios, by Rank Transition

급률은 2030년에 CMDP 시나리오(A, C)에서 6.7~7.3%까지 급등하였다가 2033~2034년에 3% 내외로 급락하는 변동성을 보였다. 중령→대령 진급률은 2037~2038년에 모든 시나리오에서 6%대 후반까지 상승하였으나, 2040년에 동시연장 시나리오(B, D)에서만 4.1~4.2%로 급락하는 차이를 보였다. 이는 동시연장 방식에서 대령 정원이 CMDP 방식보다 상대적으로 빠르게 소진됨을 의미하며, 두 정책이 서로 다른 시점에 진급 적체를 경험할 수 있음을 보여준다.

종합하면, 정년 연장 정책은 현행 유지 대비 압도적인 인력 확보 효과를 보이며, 그 효과는 정책 실행 방식(CMDP 최적화 또는 동시연장)에 따라 상이한 트레이드오프를 갖는다. 동시연장은 장기적으로 더 많은 인력을 확보하는 이상적 대안이나 도입 초기 10%대의 급격한 예산 증가를 요구하며, CMDP 최적화는 예산 제약을 안정적으로 준수하면서도 진급률 하한선 제약을 동시에 고려한 현실적인 정책 대안으로 평가된다. 다만 인구절벽이 가속화될 경우 두 정책 간 격차가 축소된다는 점에서, 정책 선택의 효과보다 신규 인력 확보 전략 자체의 중요성이 향후 더욱 부각될 것으로 전망된다.

5. 결론 및 향후연구

본 연구는 인구 감소에 따른 초급 장교 수급 위기를 해결하기 위한 정책 대안으로 계급별 정년 연장 로드맵을 제시하고, 2040년까지를 대상으로 Aggregated CMDP 모형을 활용한 정량적 검증을 수행하였다. 특히 현행 정년 유지 시나리오(S0)와 CMDP 최적화 및 전 계급 동시연장 정책을 비교함으로써 정년 연장 정책의 필요성과 실행 방안에 대한 시사점을 도출하였다.

첫째, 현행 정년을 유지할 경우 2040년 장교 인력은 약 34,300명으로 감소하여 2025년 대비 약 9.5% 줄어드는 것으로 나타났다. 반면 정년 연장 정책을 적용할 경우 예산 증가율 6.5% 제약 하에서도 약 6만~7만 명 수준의 인력을 확보할 수 있어, 현행 유지 대비 74~126%의 인력 확보 효과가 확인되었다. 이는 신규 유입 감소를 숙련 인력의 복무 기간 연장으로 보완함으로써 인력 구조의 급격한 축소를 완화할 수 있음을 의미한다.

둘째, CMDP 최적화와 전 계급 동시연장 정책을 비교한 결과, 동시연장은 모든 시나리오에서 더 많은 인력을 확보하였으나 신규 유입 고정 시 6.7%, 감소 시 4.9% 수준의 추가 효과에 그쳤으며, 도입 초기 예산 증가율이 약 10%까지 상승하는 부담이 발생하였다. 반면 CMDP 최적화는 예산 증가율 6.5% 범위 내에서 안정적인 재정 운용과 진급률 하한선 유지가 가능하여 현실성이 높은 정책 대안으로 평가된다.

셋째, 계급 전이별 진급률 분석에서는 정년 연장 초기 해당 계급의 진급률이 일시적으로 하락한 뒤 점진적으로 회복되는 비동기적 패턴이 공통적으로 나타났다. 이는 정년 연장과 진급 안정성 간의 구조적 상충관계를 보여주는 결과이며, 군인사법상 최소 복무연수 제약이 반영된 결과로 해석된다. 다만 정원조정(Quota Adjustment)을 통해 이러한 진급 적체를 상당 부분 완화할 수 있음을 확인하였다.

넷째, 신규 유입 감소 시나리오에서는 정책 방식에 따른 인력 확보 효과 차이가 고정 유입 시보다 축소되었다(6.7%→4.9%). 이는 정책 설계의 차이보다 신규 인력 확보 규모 자체가 장기적인 인력 유지에 더 중요한 제약 요인임을 시사하며, 인구 감소가 심화될수록 신규 인력 확보 전략의 중요성이 더욱 커질 것으로 예상된다.

종합하면, 본 연구는 정년 연장 정책이 단순한 인력 규모 유지 수단을 넘어 조직 안정성과 재정 지속가능성을 동시에 확보할 수 있는 동태적 인력관리 방안임을 정량적으로 입증하였다. 또한 예산 제약, 진급률 제한, 전역률 조정, 정년 상한을 통합적으로 고려한 CMDP 기반 시뮬레이션 모형을 제시함으로써 군 인력정책 수립을 위한 실증적 의사결정 지원 도구로서의 활용 가능성을 제시하였다.

다만 본 연구는 장교 집단을 대상으로 한 집계 분석이라는 한계를 가진다. 향후에는 병과 및 직무별 특성을 반영한 세부 모형 구축, 부사관 · 군무원과의 통합 인력 구조 분석, 고연령 장교 증가에 따른 조직 성과 변화 검증, 그리고 정원조정 정책과 신규 유입 변화의 상호작용에 대한 보다 정교한 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

Abdessameud, O., Van Utterbeeck, F., Van Kerckhoven, J., and Guerry, M.-A. (2018), Military manpower planning: Towards simultaneous optimization of statutory and competence logics using population based approaches, *Proceedings of the 7th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems (ICORES 2018)*, 178-185.

Baek, B. H. (2020), Economic Analysis of Civilian Personnel in the Military Using System Dynamics, *Korean System Dynamics Review*, **26**(3), 201-220.

Jang, H. (2024, March 26), "Salaries left over due to lack of personnel": Unspent wages for military officers and NCOs hit record high last year [in Korean]. Skyedaily. https://www.skyedaily.com/news/news_view.html?ID=226005

Kang, K. H. and Lee, J. H. (2024), A Study on Retirement Age Extension for Majors from a National Financial Perspective, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, **25**(2), 57-69.

Kang, K. H. (2024), A Study on the Personnel Management and Maintenance Cost Analysis of ROTC Officers and Soldiers, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, **25**(2), 57-75.

Lee, J. H., Lee, S. R., and Lee, M. G. (2022), System Dynamics Modeling of Marine Corps Officer Manpower Structure: Focusing on Retirement Age Extension for Majors, *Korean System Dynamics Review*, **23**(1), 15-34.

Ministry of National Defense Policy Planning Bureau (2023), Problems and Countermeasures for Military Manpower Acquisition due to Low Birth Rate and Aging, *Defense Policy Trends*, **15**(2), 112-138.

Nam, S. H. (2018), An Empirical Study on the Relationship between Retirement Age Extension and Youth Employment, *Korean Journal of Labor Economics*, **41**(2), 45-72.

Park, J. S. (2021), Designing a Military Service System for Strong National Defense in an Era of Population Decline: Directions for Military Manpower Policy, *National Defense Policy Research*, **37**(1), 101-125.

Park, J. S. (2021), Gender Issues in National Defense: Structure and Prospects of Discussions on Women's Conscription, *Journal of Women and Defense Policy*, **22**(3), 45-68.

Shin, S. B. (2020), Ways to Improve National Defense Manpower Structure through Utilization of Civilian Personnel, *Journal of Defense Economics*, **28**(4), 78-95.

Shin, S. B. (2021), Policy Development Direction through the History of the Role and System of Military Civilians, *Korean Journal of Public Administration*, **33**(2), 156-178.

Zais, M. and Zhang, D. (2015), A Markov chain model of military personnel dynamics, *Journal of the Operational Research Society*, **66**(11), 1863-1885.

저자소개

이승률: 경성대학교에서 2012년 학사를 취득하고 국방대학교 운영분석/군수경영학과에서 2020년 석사학위를 취득 후 2023년부터 운영분석/군수경영학과 박사과정에 재학 중이다. 연구분야는 최적화, 시뮬레이션이다.

김수환: 1996년 육군사관학교에서 화학 학사학위, 2004년 한국과학기술원에서 산업공학 석사학위, 2013년 텍사스 A&M 대학교에서 산업공학 박사학위를 취득하였다. 현재 국방대학교 국방과학학부에서 전임교수로 재직 중이다. 주요 연구 관심 분야는 최적화, 인공지능(AI), 비용분석이다.