



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

통계적 분석방법을 적용한
저장탄약수명주기 비교분석

-추진제의 안정제함량 변화를 중심으로-



2012년

HANSUNG
UNIVERSITY

한성대학교 대학원

산업시스템공학과

산업시스템공학전공

김 희 보

석 사 학 위 논 문
지도교수 홍윤기

통계적 분석방법을 적용한
저장탄약수명주기 비교분석
-추진제의 안정제함량 변화를 중심으로-

A Statistical Analysis for the Self-Life Prediction of
Ammunition

-Focused on propellant' s stabilizer-

2011년 12월 일

한성대학교 대학원

산업시스템공학과

산업시스템공학전공

김 희 보

석사학위논문
지도교수 홍윤기

통계적 분석방법을 적용한
저장탄약수명주기 비교분석
-추진제의 안정제함량 변화를 중심으로-

A Statistical Analysis for the Self-Life Prediction of
Ammunition

-Focused on propellant's stabilizer-

위 논문을 산업시스템공학 석사학위 논문으로 제출함

2011년 12월 일

한성대학교 대학원

산업시스템공학과

산업시스템공학전공

김 희 보

김희보의 산업시스템공학 석사학위논문을 인준함

2011년 12월 일



심사위원장 _____인

심사위원 _____인

심사위원 _____인

국 문 초 록

통계적 분석방법을 적용한 저장탄약수명주기 비교분석 -추진제의 안정제 함량 변화를 중심으로-

한성대학교 대학원
산업시스템공학과
산업시스템공학전공
김 희 보

야전에 저장된 탄약의 수명을 예측하는 것은 군의 전투지원 핵심요소로 실무적으로 매우 중요한 의미가 있다. 본 연구는 2001년부터 2006년까지 수행된 155mm 추진 장약(KD541)의 ASRP(Ammunition Stockpile reliability program : 저장탄약신뢰성평가)의 추진 장약의 추진제의 안정제함량 변화에 따른 데이터를 통계적 예측방법(이동평균법, 지수평활법, 지수성장모형, 회귀분석, ARIMA)을 적용하여 모형의 적합도를 평가하고 저장탄약의 수명을 예측하였다. 본 연구는 기존 회귀분석을 적용한 연구방법과 다르게 다양한 통계적 분석방법을 적용하였고, 미니탭을 활용하였다.

【주요어】 저장탄약신뢰성평가, 저장탄약수명, 이동평균법, 지수평활법, 지수성장모형, 회귀분석, ARIMA, 미니탭

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 목적	1
제 2 절 연구 내용	2
제 3 절 연구의 범위와 방법	2
제 2 장 이론적 배경	5
제 1 절 ASRP의 개념 및 방법, 수행절차	5
1. ASRP의 개념	5
2. ASRP의 방법	5
3. ASRP의 수행절차	6
제 2 절 추진제와 안정제 자연분해	7
제 3 절 시계열의 개념	8
제 3 장 통계적 분석방법 적용	10
제 1 절 이동평균법	10
제 2 절 지수평활법	15
1. 단일지수평활법	15
2. 이중지수평활법	16
제 3 절 단일지수성장모형	17
제 4 절 선형회귀분석 방법	21
제 5 절 ARIMA 분석	24
1. AR(p)과정	24

2. MA(q)과정	24
3. ARMA(p,q)과정	24
제 4 장 연구결과 비교/분석	26
제 1 절 잔차분석	26
제 2 절 연구결과 비교	36
제 5 장 결론 및 향후 연구 방향	38
【참고문헌】	39
ABSTRACT	41



【 표 목 차 】

[표 1-1] 저장연도 별 DPA	3
[표 2-1] ASRP 주요요소	6
[표 3-1] 이동평균 길이 3의 적합치	12
[표 3-2] 이동평균 길이 4의 적합치	13
[표 3-3] 이동평균 길이 5의 적합치	14
[표 3-4] 단일지수평활법의 적합치	16
[표 3-5] 이중지수평활법의 적합치	18
[표 3-6] 단일지수성장모형의 적합치	20
[표 3-7] 단일지수성장모형(MA4)의 적합치	21
[표 3-8] 회귀분석의 적합치	23
[표 3-9] ARIMA의 적합치	25
[표 4-1] 이동평균 길이 3의 통계량	27
[표 4-2] 이동평균 길이 4의 통계량	28
[표 4-3] 이동평균 길이 5의 통계량	29
[표 4-4] 단일지수평활법의 통계량	30
[표 4-5] 이중지수평활법의 통계량	31
[표 4-6] 단일지수성장모형의 통계량	32
[표 4-7] 단일지수성장모형(MA4)의 통계량	33
[표 4-8] 회귀분석의 통계량	34
[표 4-9] ARIMA의 통계량	35
[표 4-10] 통계적 모형들의 추정값	36
[표 4-11] 통계적 모형들의 예측값	37

【 그림 목 차 】

<그림 2-1> ASRP 수행절차	7
<그림 3-1> 이동평균 길이 3의 시계열도	12
<그림 3-2> 이동평균 길이 4의 시계열도	13
<그림 3-3> 이동평균 길이 5의 시계열도	14
<그림 3-4> 단일지수평활법의 시계열도	15
<그림 3-5> 이중지수평활법의 시계열도	17
<그림 3-6> 단일지수성장모형의 시계열도	19
<그림 3-7> 단일지수성장모형(MA4)의 시계열도	20
<그림 3-8> 회귀분석의 시계열도	23
<그림 3-9> ARIMA의 시계열도	25
<그림 4-1> 이동평균 길이 3의 잔차분석	27
<그림 4-2> 이동평균 길이 4의 잔차분석	28
<그림 4-3> 이동평균 길이 5의 잔차분석	29
<그림 4-4> 단일지수평활법의 잔차분석	30
<그림 4-5> 이중지수평활법의 잔차분석	31
<그림 4-6> 단일지수성장모형의 잔차분석	32
<그림 4-7> 단일지수성장모형(MA4)의 잔차분석	33
<그림 4-8> 회귀분석의 잔차분석	34
<그림 4-9> ARIMA의 잔차분석	35

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 목적

우리 군에 야전 배치·저장된 탄약은 실전 하에서 즉각 지원되어야 한다. 또한 전쟁의 발발과 전쟁기간의 지속을 위한 전쟁 예비 물자의 개념으로써 장기간 저장되고 있다. 탄약은 전쟁의 승패를 좌우하는 전투긴요 물자로서 어떠한 상황에서도 안전하고 우수한 성능을 발휘해야 함으로, 장기 저장시 안정성, 신뢰성, 성능의 유지 및 저장수명에 대한 연구가 무엇보다 중요하다. 또한 탄약은 저장기간이 늘어날수록 점차적으로 탄약의 성능이 저하되는 고유 수명주기(Life Cycle) 때문에 1회성 시스템(One-Shot System)으로 분류·관리하고 있다.[5]

국내외 탄약 제조회사에서 제작되어 납품되는 탄약은 통상 20년 미만의 저장수명을 가지고 있으나, 저장환경과 저장기간에 따라 탄약에 대한 신뢰성은 많은 차이를 보여주고 있다. 1999년 이후 2003년까지 193개 품목, 796개 로트의 탄약 신뢰성 평가가 완료되었으며, 2004년 한 해 동안만 67개 품목, 391개 로트를 분석, 평가하였다. 지금까지의 국방기술품질원 ASRP(Ammunition Stockpile Reliability Program : 저장탄약신뢰성평가)의 보고서에 따르면 평균적으로 저장수명 20년 이상을 경과한 탄약이 70%에 이르며 이중 34%가 정상 사용이 가능하고 이를 제외한 나머지는 변질 징후가 보이거나 신뢰성이 미흡하여 조기 불출 및 사용이 요구되거나 일부 기능을 제한하여 사용 또는 폐기와 정비 등의 후속 조치가 요구되는 것으로 판정되었다.[6]

군 관련 연구기관에서는 탄약 신뢰성 보장의 일환으로 저장탄약수명 예측에 많은 노력을 기울이고 있다. 이중 155mm 곡사포(K-55, 자주포) 등 포병 핵심 전력의 탄약저장수명을 예측하는 업무는 상시 전투태세 유지에 매우 중요한 임무이다. 현재 탄약의 저장수명을 예측하는데 회귀분석을 활용하고 있다. 본 연구에서는 회귀분석뿐만 아니라 다양한 통계적 방법들을

제시하여 실제 데이터의 적용, 분석하였다.

제 2 절 연구 내용

ASRP 보고서의 따르면, 추진제의 잔류 안정제 함량이 많이 저하되었음을 확인하였다. 추진제의 잔류 안정제 함량이 저하되면 추진제의 급속한 분해반응으로 자연발화의 위험성이 있을 뿐 아니라, 수명연한이 조기에 도래하여 순기비용이 증가하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 외국에서는 추진제의 저장수명 분석에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으나, 국내에서는 연구가 미비한 실정이다. 하지만 우리나라는 단기추진제의 생산을 계속하고 있으며, 국내 여러 곳에 장기간 저장해야 하는 실정이므로 저장수명 분석에 대한 연구의 필요성이 증대되었다.

추진제는 고유의 특성상 장기 저장시 자연분해가 일어나며 이러한 추진제의 자연분해속도는 추진제의 주요 성분, 안정제의 종류 및 함량, 제조방법 및 저장온도, 습도 등의 조건에 따라 달라진다.

본 연구에서는 추진제의 자연분해에 영향을 미치는 요인 중 안정제의 함량을 중심으로 저장탄약의 수명주기를 분석하였다. 분석방법으로는 이동평균법, 지수평활법, 지수성장모형, 회귀분석, ARIMA를 적용하여, ASRP을 통해 얻어진 155mm 탄약 추진제의 안정제함량 데이터와 분석방법과의 적합도를 검정하였으며, 또한 저장탄약의 수명을 예측하였다. 분석도구로는 미니탭을 사용하여 시계열도와 추정값들을 연산하였다.

제 3 절 연구 범위와 방법

정확한 탄약의 저장수명을 예측하기 위해서는 생산 초기부터 폐기에 이르는 전 순기 동안의 평가 자료가 필요하다. 하지만 이번 연구에서는 2001년부터 2006년까지의 ASRP 결과 보고서를 참고하였다. ASRP 결과 보고서는 전 군의 시설 탄약고를 대상으로 국방기술품질원에서 주관하여 실시한 탄약저장신뢰성평가 결과를 종합적으로 분석 및 정리한 기술 보고서이

다. 보고서 데이터는 국방기술품질원 연구 인력을 중심으로 전군 00개 시설 탄약부대에서 임의 추출한 자료이며 매년 보고서 발간을 통해 평가 자료를 축적해 나가고 있다.

[표 1-1] 저장연도 별 DPA(Diphenyl-Amine : 유기안정제)

저장연도	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DPA	0.87	0.83	0.84	0.83	0.83	0.75	0.80	0.72	0.66	0.59	0.72	0.51
저장연도	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
DPA	0.42	0.49	0.53	0.36	0.34	0.52	0.58	0.36	0.42	0.56	0.56	0.45

[표 1-1]은 전 군의 탄약고를 대상으로 국방기술품질원에서 주관한 ASRP 보고서의 155mm탄약 추진제의 안정제 함량 결과이다. 탄약고는 탄약을 저장해둔 곳을 말하며 중대 단위 대대단위 연대 단위별로 탄약고가 있으며 대부분 편제 장비에 사용될 탄을 보관해둔다. 전방보병대대급 탄약고는 대부분 투입될 진지 근처에 위치하며 대대화력에 소모될 탄약과 철조망 지뢰 기타 장비를 보관해두고 있다. 탄약을 전문으로 다루는 부대를 탄약창이라 한다. 육군 군수사령부 예하에 탄약지원사령부가 있으며, 또한 각 군마다 탄약창이란 부대가 별도로 편제되어있다. 이처럼 전 군의 탄약고는 전국에 걸쳐서 위치하고 있고, 탄약고 별로 탄약고의 규모가 다르고, 또한 저장되는 탄약의 종류와 보관방식 또한 서로 상이하다. 따라서 저장탄약의 수명주기에 영향을 주는 탄약고의 기후조건과 보관방식 등과 같은 정성적인 자료는 본 연구에서 제외하였으며 추진제의 안정제 함량 변화를 중심으로 분석하였다.

분석방법으로는 이동평균법, 지수평활법, 지수성장모형, 회귀분석, ARIMA를 적용하여, ASRP을 통해 얻어진 155mm 탄약 추진제의 안정제 함량 데이터와 분석방법과의 적합도를 검정하였고, 저장탄약의 수명을 예측하였다. 정확도 측도로는 MAPE(mean absolute percent error : 평균절대오차비율), MAD(mean absolute deviation : 평균절대편차), MSD(mean

squared deviation : 평균제곱편차)를 사용하였으며, 또한 시계열도를 통해서 안정제 함량 데이터와 분석방법의 시각적인 비교를 제시하였다. 저장탄약 수명예측 시에는 안정제 함유량이 0.3% 이하를 기준으로 하여, 분석방법별 평균값과 하한값(95% 예측구간)을 예측하여 제시하였다. 분석도구로는 미니탭을 사용하여 시계열도와 추정값들을 연산하였다.

이번 연구는 총 다섯 개의 장으로 구성하였다. 제1장 서론은 연구 목적, 연구 내용, 연구 범위와 방법을 기술하였고 2장에선 이론적 배경과 시계열의 개념을 논하였다. 3장에서는 통계적 분석방법을 적용하며, 4장에서는 연구결과를 비교 및 분석 그리고 마지막으로 5장은 연구에 대한 결론 및 향후 연구방향에 대하여 논하고자 한다.



제 2 장 이론적 배경

제 1 절 ASRP의 개념 및 방법, 수행절차

1. ASRP의 개념

저장탄약 신뢰성 평가는 각 군에서 저장중인 탄약의 사용가능성, 안정성, 신뢰성 및 성능을 평가하여 탄약의 교체시기, 정비, 개수 및 폐기 등을 위한 자료를 제공함으로써 저장탄약의 신뢰성 확보와 군 전투력 향상을 목적으로 실시되는 종합적인 탄약 평가 시스템으로 정의된다. 저장탄약 신뢰성 평가 업무는 탄약획득절차상의 배치 및 운영단계에서의 품질보증의 일환으로 저장탄약의 최고 품질을 보장하는 업무이다. 그리고 이러한 ASRP 업무지원을 통해 저장중인 탄약의 신뢰성을 확보를 통한 군 전투력 향상 및 전투요원의 자신감 향상, 적은 비용의 개수정비로 저장수명의 연장 및 국방예산절감, 성능저하 예상탄약의 선별 및 우선사용, 사용 불가탄의 폐기를 통한 저장공간 활용, 그리고 획득 기술정보의 환류를 통한 품질개선, 수명주기 판단자료 제공 및 저장탄약 신뢰성평가 업무의 수행절차를 서술한 저장탄약 시험절차서(ASTP : Ammunition Stockpile Test Procedure) 작성 등 다양한 효율적 측면을 기대할 수 있다.

2. ASRP의 방법

저장탄약 신뢰성 평가 업무는 창검사, 저장 기능시험, 저장 분성시험 및 약작용 조사분석의 4대 요소로 구성되어 있다. 창검사(Ammunition Surveillance Program)는 비축탄약에 대한 기능 및 비기능 특성, 안전도, 저장특성 등을 생산, 저장 및 시험시설에 배속된 탄약검사원에 의해 파악하게 하는 품질보증활동을 말한다. 저장 기능시험(Stockpile Function Test)은 저장시설에 설치된 기능 시험장 또는 탄도 시험장에서 탄약의 성능, 신뢰도 및 수명평가를 위하여 실제 발사시험을 하는 기능 분야로 창기능시험(Depot Surveillance Function Test)과 시험장 성능시험(Proving

Ground Ballistic Test)으로 구분된다. 저장 분석시험(Stockpile Laboratory Test)은 저장탄약 신뢰성 평가 기능에서 육안검사 및 기능시험을 지원하는 시험이며, 약작용 조사분석(Malfunction Investigation & Analysis)은 군에서 전투 또는 훈련시 설정기준을 초과하여 발생하는 불발, 자연발화 또는 조기폭발과 정상적인 취급, 수송 및 저장 중에 발생하는 비정상 기능이나 조기 작동되는 탄약에 대하여 원인을 조사 분석하는 기능을 말한다. ASRP 주요요소를 정리하면 [표 2-1]과 같다.

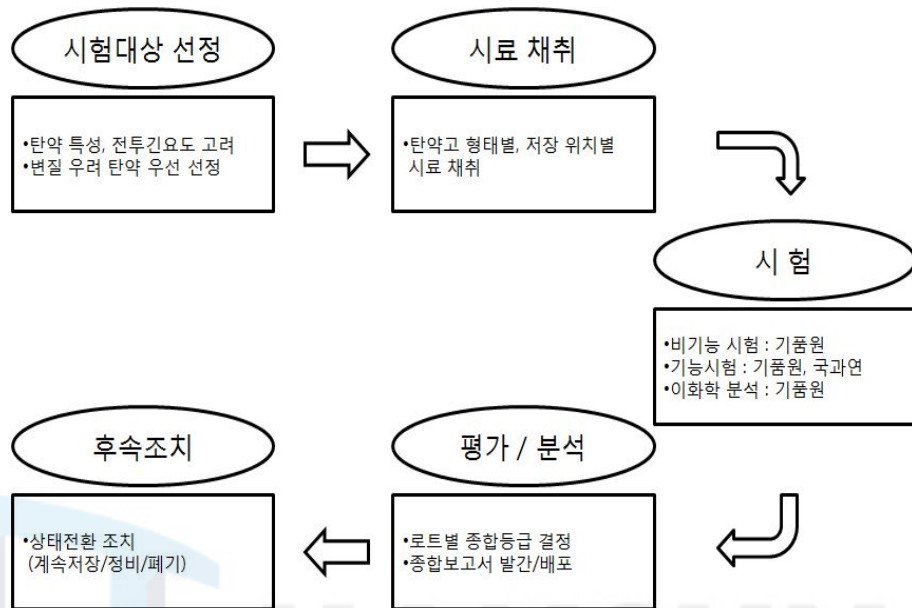
[표 2-1] ASRP 주요요소

4대 요소		기 능	주관기관
창검사		육안검사 위주 활동	각군 기품원
저장기능시험	창기능시험	성능시험(소구경, 비발사탄류)	각군
	시험장 성능시험	고도기술, 정밀 측정장비가 요구되는 성능시험(발사탄류)	기품원 국과연
저장분석시험		- 추진제의 이화학시험 - 재료의 재질분석 및 비파괴검사	기품원
약작용 조사분석		탄약 약작용 조사분석(불발, 조기폭발)	기품원

3. ASRP의 수행절차

국내 ASRP 업무수행 절차는 시험준비, 실시, 시험결과 분석·평가 및 후속조치 등 4단계로 나뉜다. 시험준비는 시험대상 선정 및 시료채취, 시험실시 단계에서는 비기능 검사, 발사시험, 저장분석시험으로 구분된다. 추진제의 안정제함량 데이터는 시험실시 단계의 저장분석시험을 통해 얻을 수 있다. 시험결과 분석·평가 단계에서는 국방부 주관으로 결과를 종합한 후 탄약상태 등급을 결정 하고 마지막 후속조치 단계를 통해 상태전환, 결

과 보고서 발간·배포 등이 이루어진다.



<그림 2-1> ASRP 수행 절차

제 2 절 추진제와 안정제 자연분해

155mm 추진장약 구성품인 추진제는 포탄을 목적지까지 날아갈 수 있도록 추진력을 제공하는 중요한 역할을 하는 것으로 시간 경과에 따라 저장 안정성이 저하되는 대표적인 구성품이다. 155mm 추진장약에 사용되는 추진제는 NC(Nitrocellulose)를 주요 기제로 만들어지는 단기 추진제로 단공 원통형의 형상으로 되어 있다. 단기추진제의 NC는 NG(Nitroglycerin)와 다른 질산에스테르 화합물과 같이 불안정한 물질로 잘 알려져 있다. 특히, 추진제가 노화되면서 발생하는 NO_2 가 수분과 반응하면 질산을 생성시킨다. 이러한 반응에 의해 질산에스테르분해를 촉진시키는 자동촉매반응이 일어나 화합물 제조 후 서서히 분해되기 시작한다. 시간이 경과함에 따라 열, 수분, 산성 물질 등에 의해 자연분해가 더욱 가속화되고 불안정한 상태가 되어 자연 발화의 위험이 잔존한다.

추진제에 포함된 안정제의 역할은 NC의 분해로 야기되는 추진제의 자연분해를 근본적으로 방지할 수는 없으나 분해생성물에 의한 자동촉매반응의 유도를 억제하며 분해반응의 가속을 지연시키는 역할을 한다. DPA는 단기추진제 중에서 가장 많이 사용되는 안정제로서 추진제의 특성에 따라 첨가하는 양이 다르지만 일반적으로 약 1.0% 정도 추진제에 사용된다. 저장시 안정제함량이 일정조건(0.3% 이상)을 유지해야 하며 0.3%미만으로 저하될 경우 조기에 불출하여 사용하고, 0.2%미만인 경우에는 비균사화 작업을 통해 폐기하여야 한다.[7]

제 3 절 시계열의 개념

시계열(time series)이란 시간의 경과에 따라 변동하는 변수를 관측한 결과들의 집합을 의미한다. 예를 들면 백화정의 매월 매출액, 우리나라의 연간 강철생산량, GNP, 강수량 등 얼마든지 있다. 이와 같은 시계열은 어떠한 사회현상이나 자연현상에 관한 변수의 시간적 변화를 나타내는 하나의 역사적 사실의 자료가 되는 것이다. 시계열을 구성해주는 통계숫자로는 관찰결과를 그대로 나타낸 실수도 있고 또한 그 실수로부터 계산하여 얻은 평균, 비율 또는 지수와 같은 수치로 되는 경우도 있다.

시계열의 분석을 위해서는 시계열은 각 항이 서로 비교할 수 있는 성질이 있어야 되기 때문에 다음과 같은 요인이 갖추어져야 한다. 첫째로, 시계열에서의 시간의 경과는 동일한 시간간격에 따라야 한다. 둘째로, 시계열을 구성하는 숫자들은 동일한 정의와 방법에 의하여 조사된 것이어야 한다.

이상과 같은 요인을 갖춘 시계열자료를 분석하는 목적은, 첫째 과거와 현재의 자료에 대한 성격을 보다 자세히 이해하고, 둘째, 그 이해를 바탕으로 미래를 보다 합리적으로 예측하기 위함이다. 따라서 시계열분석에서는 일정기간 동안 분석대상이 되는 변수에 의하여 나타난 변동이 분석의 초점이 된다. 즉 어떤 시계열이 과거의 오랜 기간 동안의 있어서 일정한 추세(trend)나 지속적인 양상을 나타낸다면, 미래에도 그것이 계속될 것이

라고 예상하는 것은 자연스러운 판단일 것이다. 어떤 변수의 과거의 형태가 미래까지 계속될 것이라는 가능성은 시계열적 추론을 할 수 있는 의미 있는 근거를 제공하는 것이며 그러한 추론이 바로 시계열분석의 목적인다고 할 수 있다.[1]



제 3 장 통계적 분석방법 적용

제 1 절 이동평균법

과거시점의 일정기간(m)의 평균으로 다음 시점을 예측하는 방법이다. 새로운 시점의 이동평균(시간= m)값 A_t 는 다음과 같다.

$$A_t = \frac{D_t + D_{t+1} + \dots + D_{t-m+1}}{m}$$

D_i : i 시점의 관측치

이동평균값은 일정기간의 평균이므로 이동평균곡선이 급격한 변화를 보이지는 않는다. 그러나 이동평균 길이의 크기에 따라 완만한 변동추이를 갖기도 하고, 자료의 변화에 민감하게 반응하는 추세를 보일 수도 있다. 만약 어떤 주기를 발견할 수 있다면 이동평균 길이의 크기를 주기와 동일하게 정하겠지만, 대부분의 경우 그 크기를 변화시키면서 그 시계열의 전체적인 변화와 흐름을 잘 표현하는 값을 찾으려한다. 그리고 연구목적성에 따라 여러 가지 값에서 이동평균을 구하여 그에 맞는 해석을 하기도 한다.

ASRP 보고서의 155mm탄약 추진제의 안정제 함량 결과를 가지고 이동평균법에 적용해 보았다. [그림 3-1]과 [그림 3-2]을 보면 이동평균의 길이가 길어질수록 적합치의 변화의 폭이 줄어든 모습을 볼 수 있고, 비교적 평활해진 모습 또한 보여진다. 하지만 [그림 3-3]을 보면 이동평균의 길이가 가장 크지만 변화의 폭이 다시 커진 것을 알 수 있다. 따라서 일반적으로는 이동평균의 길이가 커질수록 변화의 폭이 감소한다고 알려져 있지만, 이동평균의 길이가 변화의 폭에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 수치적 해석을 위해 정확도 측도로 MAPE(mean absolute percent error : 평균절대오차비율), MAD(mean absolute deviation : 평균절대편차), MSD(mean squared deviation : 평균제곱편차)를 제시 하였다.

MAPE는 MAE(mean absolute error: 오차 절대 평균)를 특정한 단위

대신 백분율로 고쳐서 계산하며 식은 다음과 같다.

$$MAPE = [\sum_{t=1}^n (\frac{|E_t|}{D_t} \times 100)] / n(\%)$$

E_t : t 시점의 기대값

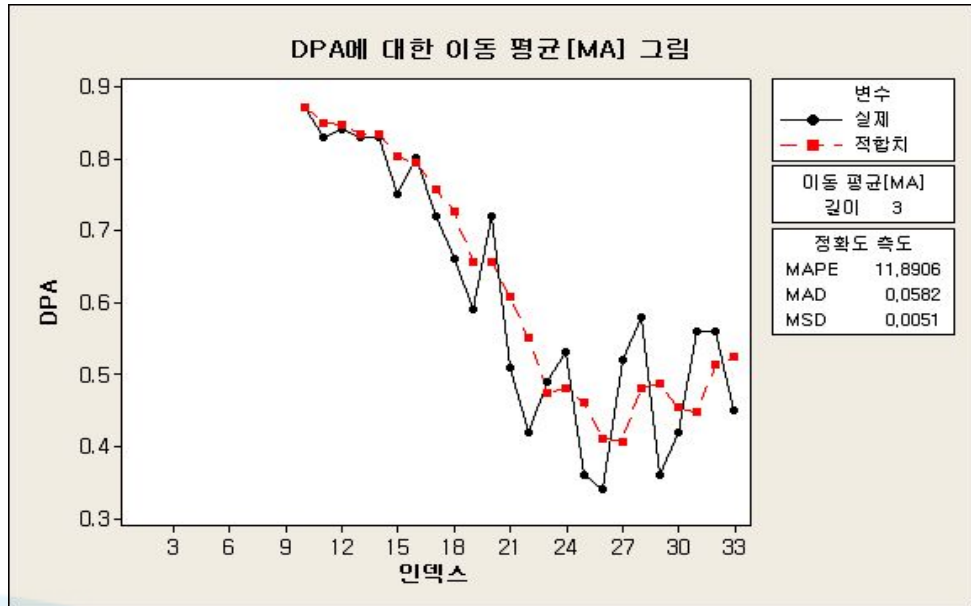
MAD는 통계 처리에서 각 변량과 각 변량의 산술 평균치와의 편차 절대값을 산술 평균한 것. n 개의 각 변량을 $X_1, X_2 \dots X_n$ 이라 하고, 절대 평균 편차의 식은 다음과 같다.

$$MADE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|$$

MSD는 오차의 제곱합을 자유도로 나눈 값으로 식은 다음과 같다.

$$MAD = \frac{1}{DF} \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|$$

<그림 3-1>은 이동평균 길이 3의 시계열도이다. 이동평균의 길이를 3으로, 이동평균 가운데 배치로하여 이동평균 값을 연산하였고, 정확도 측도 MAPE은 11.8906, MAD 는 0.0582, MSD 는 0.0051이다.



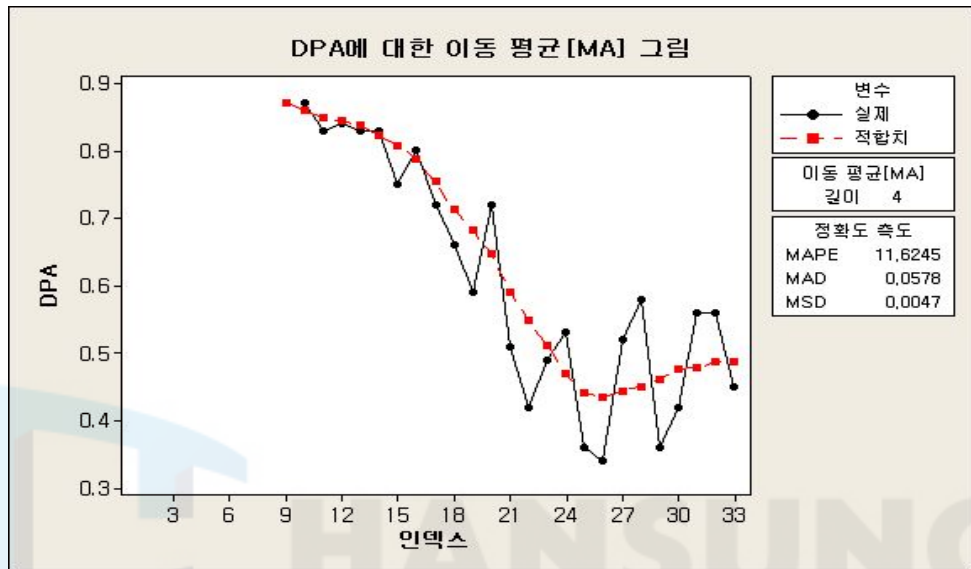
<그림 3-1> 이동평균 길이 3의 시계열도

[표 3-1]은 실제 DPA값과 이동평균 길이 3으로, 이동평균 가운데 배치로 하여 연산된 이동평균값이다.

[표 3-1] 이동평균 길이 3의 적합치

저장 연도	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DPA	0.87	0.83	0.84	0.83	0.83	0.75	0.80	0.72	0.66	0.59	0.72	0.51
이동 평균	0.85	0.85	0.83	0.83	0.80	0.79	0.76	0.73	0.66	0.66	0.61	0.55
저장 연도	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
DPA	0.42	0.49	0.53	0.36	0.34	0.52	0.58	0.36	0.42	0.56	0.56	0.45
이동 평균	0.47	0.48	0.46	0.41	0.41	0.48	0.49	0.45	0.45	0.51	0.52	·

<그림 3-2>는 이동평균 길이 4의 시계열도이다. 이동평균의 길이를 4로, 이동평균 가운데 배치로하여 이동평균 값을 연산하였고, 정확도 측도 MAPE은 11.6245, MAD 는 0.0578, MSD 는 0.0047이다.



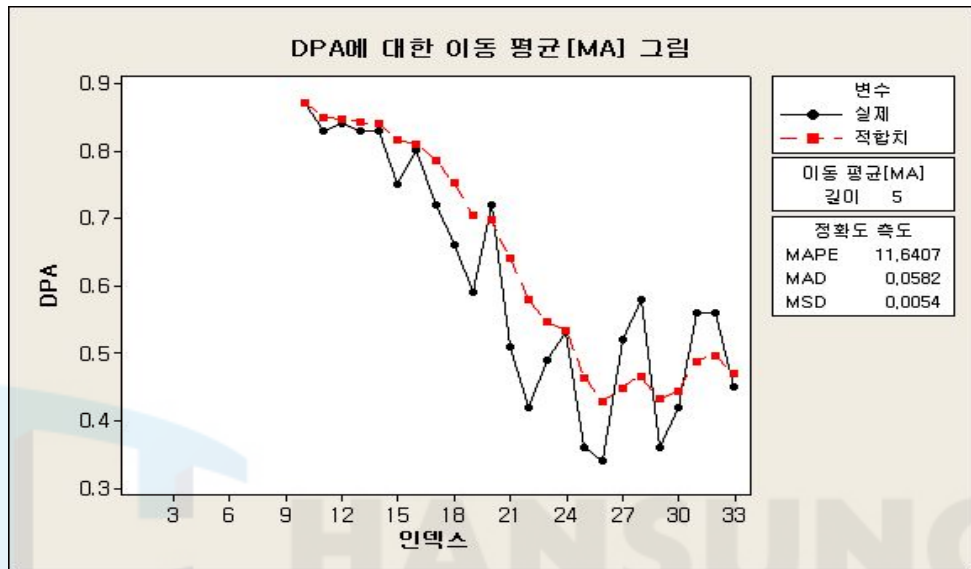
<그림 3-2> 이동평균 길이 4의 시계열도

[표 3-2]는 실제 DPA값과 이동평균 길이 4로, 이동평균 가운데 배치로하여 연산된 이동평균 값이다.

[표 3-2] 이동평균 길이 4의 적합치

저장 연도	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DPA	0.87	0.83	0.84	0.83	0.83	0.75	0.80	0.72	0.66	0.59	0.72	0.51
이 동 평 균	0.85	0.85	0.83	0.83	0.80	0.79	0.76	0.73	0.66	0.66	0.61	0.55
저장 연도	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
DPA	0.42	0.49	0.53	0.36	0.34	0.52	0.58	0.36	0.42	0.56	0.56	0.45
이 동 평 균	0.47	0.48	0.46	0.41	0.41	0.48	0.49	0.45	0.45	0.51	0.52	·

<그림 3-3>은 이동평균 길이 5의 시계열도이다. 이동평균의 길이를 5로, 이동평균 가운데 배치하여 이동평균 값을 연산하였고, 정확도 측도 MAPE는 11.6207, MAD 는 0.0582, MSD 는 0.0054이다.



<그림 3-3> 이동평균 길이 5의 시계열도

[표 3-3]은 실제 DPA값과 이동평균 길이 5로, 이동평균 가운데 배치하여 연산된 이동평균 값이다.

[표 3-3] 이동평균 길이 5의 적합치

저장 연도	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DPA	0.87	0.83	0.84	0.83	0.83	0.75	0.80	0.72	0.66	0.59	0.72	0.51
이 동 평 균	0.85	0.84	0.84	0.82	0.81	0.79	0.75	0.71	0.68	0.65	0.59	0.55
저장 연도	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
DPA	0.42	0.49	0.53	0.36	0.34	0.52	0.58	0.36	0.42	0.56	0.56	0.45
이 동 평 균	0.51	0.47	0.44	0.43	0.44	0.45	0.46	0.48	0.48	0.49	.	.

제 2 절 지수평활법

1. 단일지수평활법

이동 평균법은 일정한 기간 내에서는 현재의 자료와 과거의 자료를 동일한 가중치로 두고 평균을 내는데, 지수평활법은 최근의 자료에 더 많은 가중치를 주는 방법이다. 현재의 자료에 지수평활가중치 α 의 비중을, 과거의 자료에 $1-\alpha$ 의 비중을 둔 단순지수평활 예측값은 다음과 같다.

$$S_1 = Y_1$$

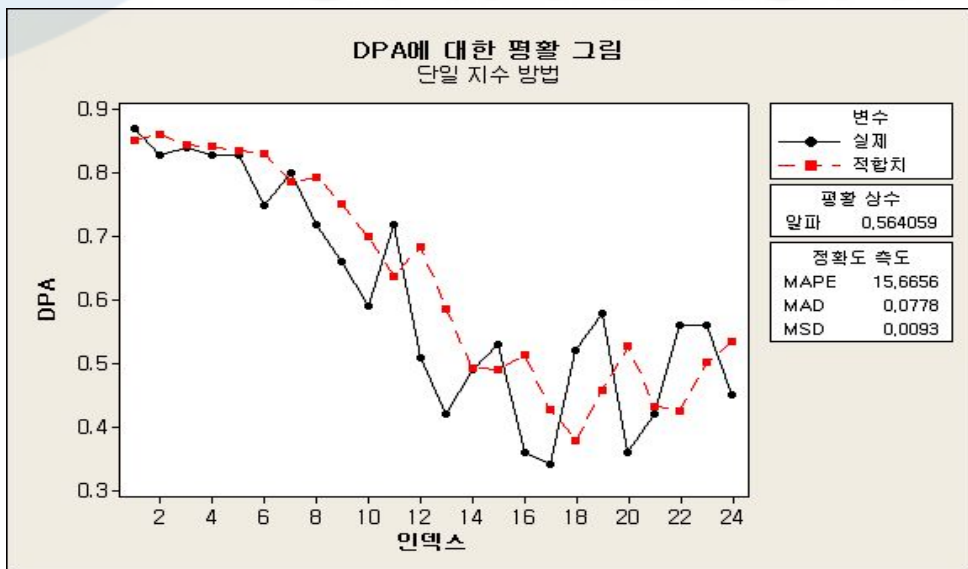
$$S_2 = \alpha Y_2 + (1-\alpha)S_1$$

$$\vdots$$

$$S_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)S_{t-1}$$

Y_i : i 시점의 관측치

<그림 3-4>는 단일지수평활법의 시계열도이다. 평활상수 α 를 최적값인 0.564059로 값을 연산하였고, 정확도 측도 MAPE는 15.6656, MAD 는 0.0778, MSD 는 0.0093이다.



<그림 3-4> 단일지수평활법의 시계열도

[표 3-4]는 실제 DPA값과 평활상수 a 를 최적값인 0.564059로 연산된 평활값이다.

[표 3-4] 단일지수평활법의 적합치

저장연도	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DPA	0.87	0.83	0.84	0.83	0.83	0.75	0.80	0.72	0.66	0.59	0.72	0.51
지수평활	0.86	0.84	0.84	0.84	0.83	0.79	0.79	0.75	0.70	0.64	0.68	0.59
저장연도	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
DPA	0.42	0.49	0.53	0.36	0.34	0.52	0.58	0.36	0.42	0.56	0.56	0.45
지수평활	0.49	0.49	0.51	0.43	0.38	0.46	0.53	0.43	0.43	0.50	0.53	0.49

2. 이중지수평활법

추세가 있는 선형모형 $y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t$ 에 대한 β_0 와 β_1 의 수정된 추정값을 결정하기 위하여 사용되는 방법을 이중지수평활방법 혹은 브라운방법(Brown's method)이라 한다. 이 접근방법은 시점 t 에서 β_1 에 대한 수정 추정값을 $\hat{\beta}_1(t)$ 이라 하고 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{\beta}_1(t) = \frac{\alpha}{1-\alpha}(S_t - S_t^{[2]})$$

여기서 S_t 는 단일평활추정값 혹은 단일평활통계량(single smoothed statistic)이라 하고, 이것은 $S_t = \alpha y_t + (1-\alpha)S_{t-1}$ 에 의해서 구해진다. 또한 $S_t^{[2]}$ 는 이중평활통계량(double smoothed statistic)라고 한다. 이것은 단일평활식의 산출에 평활계산을 적용함으로써 구해진다. 즉, $S_t^{[2]}$ 값은 다음 이중평활식을 이용하여 S_T 값을 평활함으로써 얻어진다.

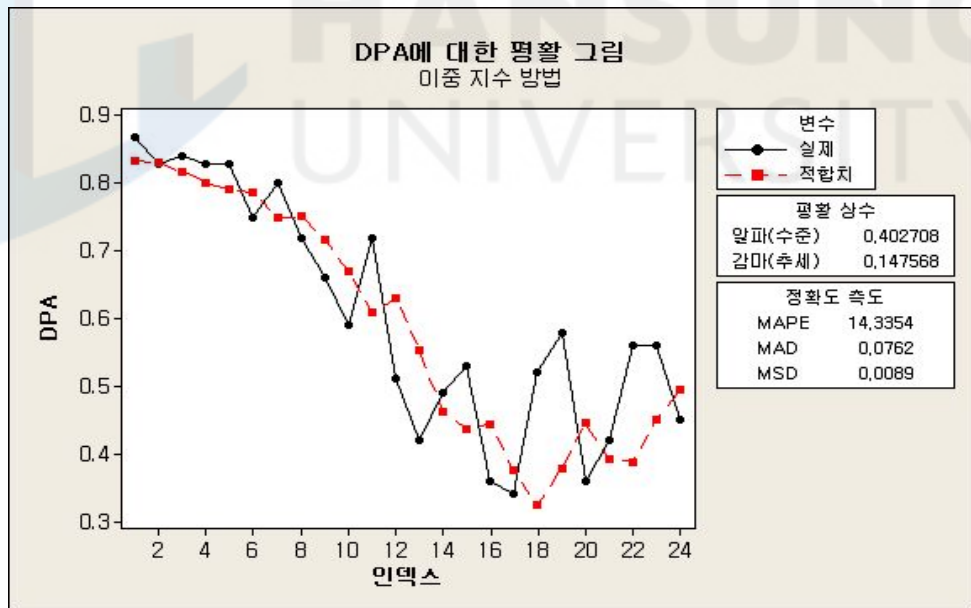
$$S_t^{[2]} = \alpha S_t + (1 - \alpha) S_{t-1}^{[2]}$$

여기서 $S_t^{[2]}$ 은 단일평활통계량의 제공이 아니고 이중평활통계량이다. 0과 1사이의 상수 α 는 평활상수라 한다. 이중평활절차는 시점 t 에서 β_0 에 대한 수정 추정값을 $\hat{\beta}_0(t)$ 이라 하고 다음 식에서 구해진다.

$$\hat{\beta}_0(t) = 2S_t - S_t^{[2]} - t\hat{\beta}_1(t)$$

$$\hat{\beta}_0(t) = 2S_t - S_t^{[2]} - t\left[\frac{\alpha}{1-\alpha}(S_t - S_t^{[2]})\right]$$

<그림 3-5>는 이중지수평활법의 시계열도이다. 평활상수 α 를 최적값인 0.402708, β 를 0.147568로 값을 연산하였고, 정확도 측도 MAPE는 14.3354, MAD는 0.0762, MSD는 0.0089이다.



<그림 3-5> 이중지수평활법의 시계열도

[표 3-5]는 실제 DPA값과 평활상수 α 를 최적값인 0.564059, β 를

0.147568로 연산된 평활값이다.

[표 3-5] 이중지수평활법의 적합치

저장도	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DPA	0.87	0.83	0.84	0.83	0.83	0.75	0.80	0.72	0.66	0.59	0.72	0.51
지수평활	0.85	0.83	0.83	0.81	0.81	0.77	0.77	0.74	0.69	0.64	0.65	0.58
저장도	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
DPA	0.42	0.49	0.53	0.36	0.34	0.52	0.58	0.36	0.42	0.56	0.56	0.45
지수평활	0.50	0.47	0.47	0.41	0.36	0.40	0.46	0.41	0.40	0.46	0.49	0.48

제 3 절 단일지수성장모형

시계열이 시간경과에 따라 일정비율로 증가(혹은 감소)하는 자료를 나타낼 경우 그 추세방정식이 지수함수 형태를 취할때가 많다. 이러한 형태중의 단일지수모형(simple exponential model)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_t = \beta_0 \cdot \beta_1^t \cdot \varepsilon_t \quad (1)$$

ε_t : 오차

y_t 값은 β_0 과 β_1 값에 의존함을 알 수 있으며 β_0 는 y_t 의 절편 그리고 β_1 은 변화율을 각각 뜻한다. $\beta_1 > 1$ 의 경우 t 가 증가함에 따라 y_t 도 증가하고, $0 < \beta_1 < 1$ 의 경우는 y_t 가 t 의 증가에 따라 감소하게 된다.

시계열의 산포도가 위의 식과 같은 지수함수형태의 추세변동을 갖는다고 볼 때, 그 추정방법은 지수함수형태의 식을 선형함수로 변환함으로써 즉, 식(1)의 양변에 대수를 취하면 다음과 같이 된다.

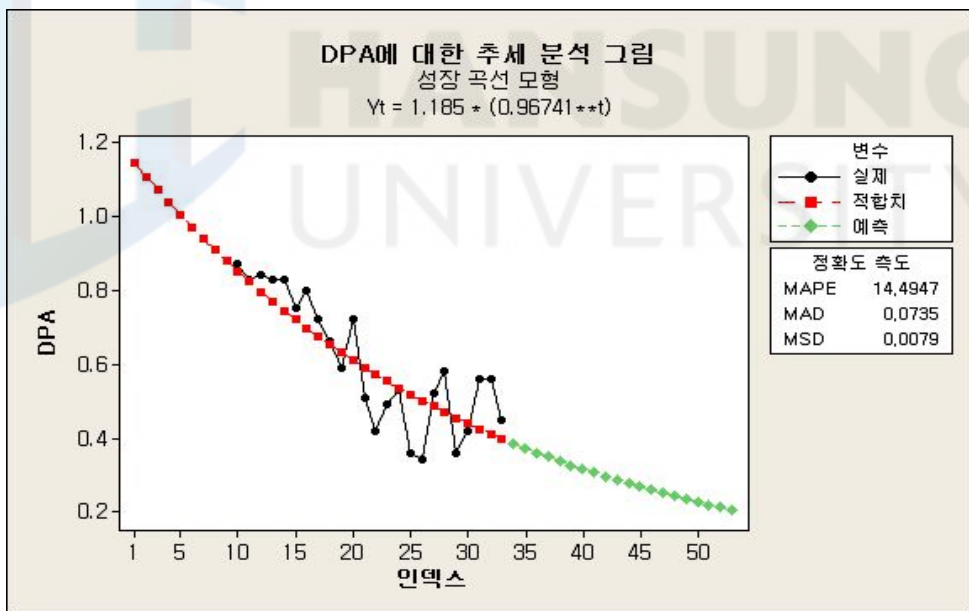
$$y'_t = \log y_t = \log \beta_0 + \log \beta_1 + \log \varepsilon_t = \beta'_0 + \beta'_1 t + \varepsilon'_t$$

여기서 모수를 추정 한 후에는 원래의 값으로 아래와 같이 변환하여야 한다.

$$\hat{\beta}_0 = \text{antilog} \hat{\beta}'_0 = e^{\hat{\beta}'_0}$$

$$\hat{\beta}_1 = \text{antilog} \hat{\beta}'_1 = e^{\hat{\beta}'_1}$$

<그림 3-6>은 단일지수성장모형의 시계열도이다. 성장곡선의 방정식은 $Y_t = 1.185 \times 0.96741^t$ 이고, 정확도 측도 MAPE는 14.4947, MAD 는 0.0735, MSD 는 0.0079이다.



<그림 3-6> 단일지수성장모형의 시계열도

[표 3-6]은 실제 DPA값과 성장곡선의 방정식을 통한 추정값이다.

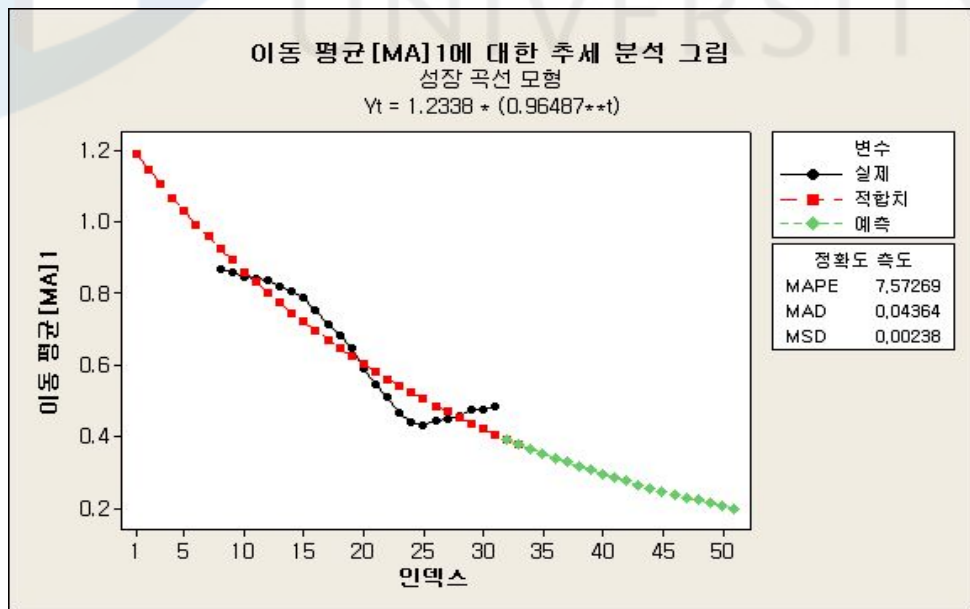
[표 3-6] 단일지수성장모형의 적합치

저장 연도	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DPA	0.87	0.83	0.84	0.83	0.83	0.75	0.80	0.72	0.66	0.59	0.72	0.51
지수 성장	0.85	0.82	0.80	0.77	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59
저장 연도	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
DPA	0.42	0.49	0.53	0.36	0.34	0.52	0.58	0.36	0.42	0.56	0.56	0.45
지수 성장	0.57	0.55	0.54	0.52	0.50	0.48	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41	0.40

<그림 3-7>은 단일지수성장모형(MA4)의 시계열도이다. 성장곡선의 방정식은

$$Y_t = 1.2338 \times 0.96487^t \text{ 이고,}$$

정확도 측도 MAPE는 7.57269, MAD 는 0.04364, MSD 는 0.00238이다.



<그림 3-7> 단일지수성장모형(MA4)의 시계열도

[표 3-7]은 실제 DPA값과 성장곡선의 방정식을 통한 추정값이다.

[표 3-7] 단일지수성장모형(MA4)의 적합치

저장도	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DPA	0.87	0.83	0.84	0.83	0.83	0.75	0.80	0.72	0.66	0.59	0.72	0.51
지수성장	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63	0.60	0.58
저장도	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
DPA	0.42	0.49	0.53	0.36	0.34	0.52	0.58	0.36	0.42	0.56	0.56	0.45
지수성장	0.56	0.54	0.52	0.50	0.49	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41	0.39	0.38

제 4 절 선형회귀분석 방법

선형모형에서 시간에 따라 평균수준이 변화한다고 가정한다. 그러므로 시계열에 대한 모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t$$

이 모형에서 $\beta_0 + \beta_1 t$ 는 시계열의 평균수준과 시간간의 직선관계를 나타내므로 시계열의 평균수준은 시간의 경과에 따라 선형모형에서 변화한다. 이 관계의 기울기는 β_1 또 시간 0에서 절편은 β_0 이다. 시계열은 관측값이 추세선으로부터 떨어져 생기는 확률변동과 결합된 직선에 의해서 포함된 추세에 의하여 나타낼 수 있다. 추세선의 기울기 β_1 이 0보다 크게 되면, 이것은 시계열의 평균수준이 시간이 지남에 따라 증가하는 석을 의미한다. 반면에 β_1 이 0보다 작으면, 시계열의 평균수준이 시간의 지남에 따라 감소하는 것을 의미한다. β_1 과 β_0 의 최소제곱추정치는 각각 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{n \sum_{t=1}^n t y_t - (\sum_{t=1}^n t)(\sum_{t=1}^n y_t)}{n \sum_{t=1}^n t^2 - (\sum_{t=1}^n t)^2}$$

$$\hat{\beta}_0 = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n} - \hat{\beta}_1 \left(\frac{\sum_{t=1}^n t}{n} \right)$$

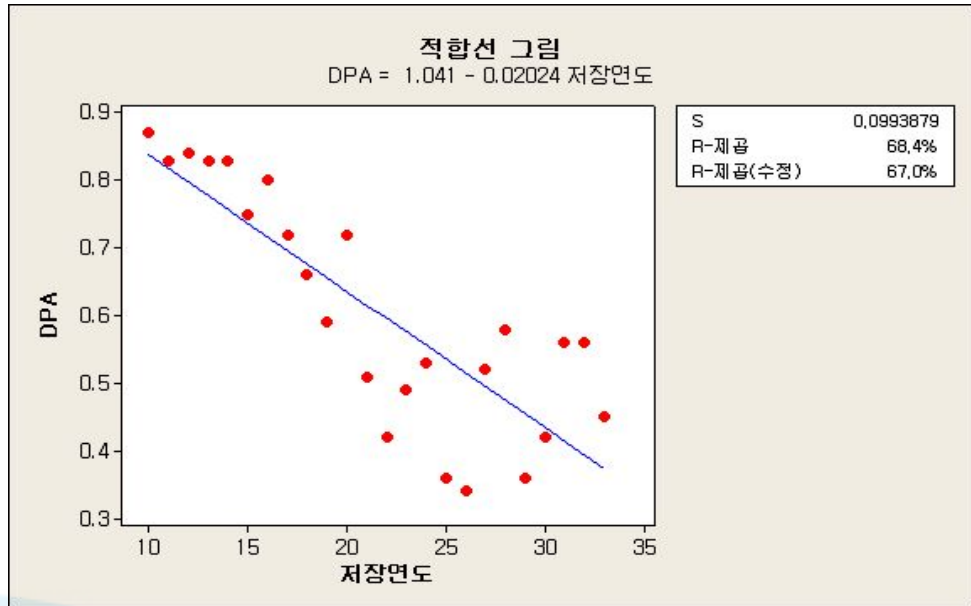
여기서 $y_1, y_2, \dots, y_n$ 은 n 개의 관측값이다. 따라서 시계열의 미래값 y_t 의 예측은 다음식에서 구해진다.

$$\hat{y}_t = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 t$$

<그림 3-8>은 선형회귀분석의 회귀선이다. 회귀방정식은

$$DPA = 1.041 - 0.02024 \times \text{저장연도이다.}$$

표준편차(S)는 0.0993879와 적합도를 나타내는 R -제곱은 68.4%이다.



<그림 3-8> 회귀분석의 시계열도

[표 3-8]은 실제 DPA값과 선형회귀의 방정식을 통한 추정값이다.

[표 3-8] 회귀분석의 적합치

저장연도	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DPA	0.87	0.83	0.84	0.83	0.83	0.75	0.80	0.72	0.66	0.59	0.72	0.51
회귀	0.84	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66	0.64	0.62
저장연도	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
DPA	0.42	0.49	0.53	0.36	0.34	0.52	0.58	0.36	0.42	0.56	0.56	0.45
회귀	0.60	0.58	0.56	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37

제 5 절 ARIMA 분석

1. AR(p)과정

AR(p) 과정은 ARMA(p,q)과정의 특수한 경우이다. AR(p)과정의 수학적 모델은

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} \cdots + \phi_p z_{t-p} + a_t \text{ 이다.}$$

z_t : 시계열에서의 t 시점 관측치(t^{th} observation of time series.)

ϕ_t : 자기회귀 매개 변수(autoregressive parameter)

a_t : 무작위적인 변화(random shock)

2. MA(q)과정

어떤 시계열 z_t 를 설명하는데 z_{t-1} 만이 정보를 가지고 있고, $z_{t-k}, k \geq 2$ 는 정보를 가지고 있지 않는 확률 과정을 표현하는 것이 이동평균과정(moving average process)이다. 즉,

$$z_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} \cdots - \theta_q a_{t-q} \text{ 이다.}$$

θ_q : 이동평균 매개 변수(moving average parameter)

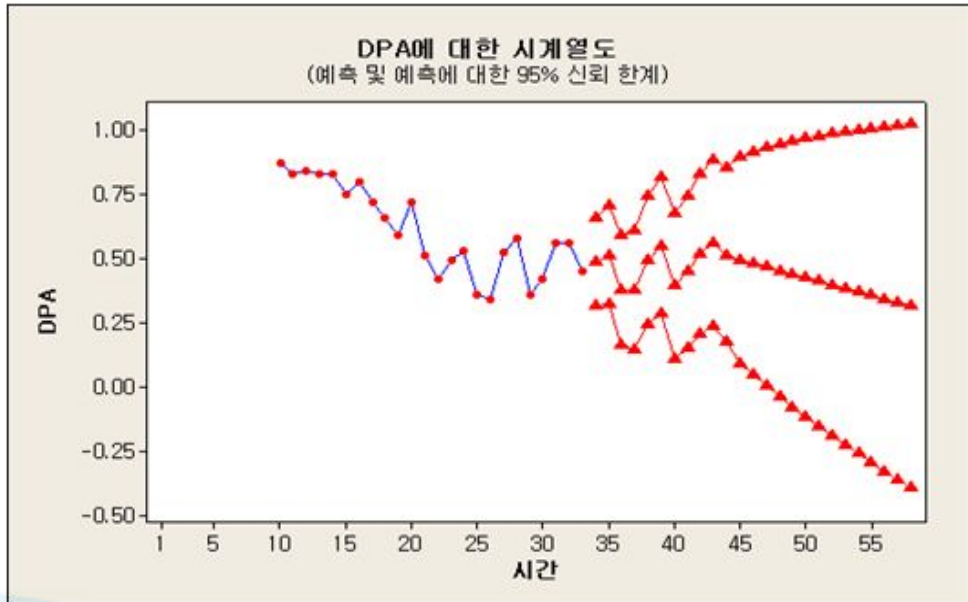
3. ARMA(p,q)과정

AR(p) 과정과 MA(q) 과정을 합쳐보면,

$$z_t = \phi_0 + \phi_1 z_{t-1} + \cdots + \phi_p z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \cdots - \theta_q a_{t-q} \text{ 이 되고,}$$

이를 ARMA(p,q)과정이라고 표기한다. 그러므로 ARMA(p,0)는 AR(p)과정이 되고 ARMA(0,q)는 MA(q)과정이 된다.

<그림 3-9>는 ARIMA의 시계열도 이다. 비계절 모델을 011 계절모델은 001, 계절상수 11로 연산하였다.



<그림 3-9> ARIMA의 시계열도

[표 3-8]은 실제 DPA값과 ARIMA를 통한 추정값이다.

[표 3-9] ARIMA의 적합지

저장 연도	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DPA	0.87	0.83	0.84	0.83	0.83	0.75	0.80	0.72	0.66	0.59	0.72	0.51
ARI MA	·	0.89	0.86	0.84	0.83	0.78	0.78	0.74	0.69	0.63	0.67	0.58
저장 연도	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
DPA	0.42	0.49	0.53	0.36	0.34	0.52	0.58	0.36	0.42	0.56	0.56	0.45
ARI MA	0.52	0.46	0.46	0.49	0.38	0.37	0.42	0.48	0.38	0.44	0.42	0.43

제 4 장 연구결과 비교 및 분석

제 1절 잔차분석

잔차는 표본값에서 관측치와 추정치의 차를 뜻하고 아래 식으로 표현한다.

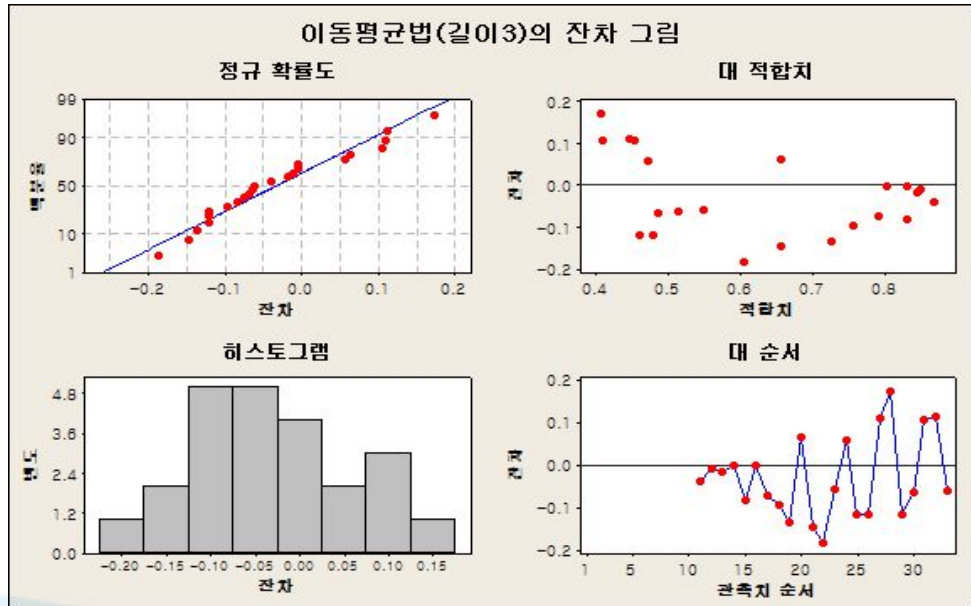
$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i$$

다음으로 잔차의 성질은 아래와 같다.

- 1) 잔차의 평균은 0
- 2) 잔차들의 분산은 동일함
- 3) 잔차에 자기상관이 없음
- 4) 잔차는 독립변수와 (선형)독립임
- 5) 잔차는 평균이 0인 정규분포를 따름

따라서 위의 잔차의 성질을 만족하는가를 분석하였다. 또한 자기상관 및 독립성 분석을 위한 통계량으로는 Durbin-Watson ratio를 사용하였다.

Durbin-Watson(DW) 통계량은 데이터들의 1차 자기상관을 판정하는 도구로, DW는 0~4 사이에 존재하는데 0 : 양의 자기상관, 2 : 독립, 4 : 음의 자기상관이 있다. 대략적으로 1보다 작거나 3보다 크면 자기상관이 확실히 있다고 판단할 수 있으며, 1.5~2.5 사이에 있을 경우 독립이라고 판단을 한다.



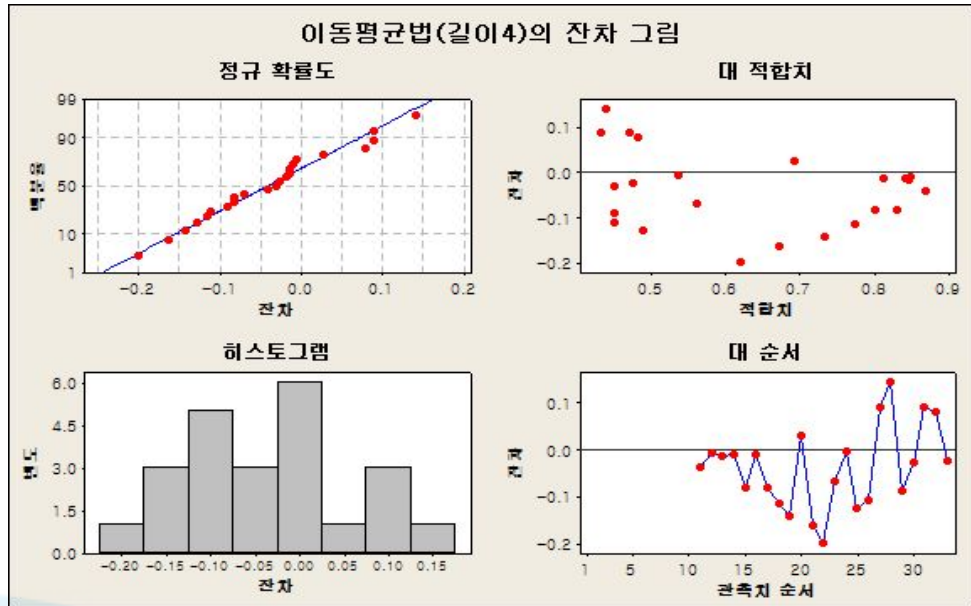
<그림 4-1> 이동평균 길이 3의 잔차분석

<그림 4-1>에서 정규 확률도와 히스토그램을 보면 비교적 평균을 0으로 하는 정규분포에 근접하는 모습을 보여주고 있다. 대 적합치를 보면 아래로 볼록한 2차 곡선을 하는 패턴이 관찰되며, 대 순서는 순서가 증가되면서 잔차의 절대값이 커지는 추세를 보여주고 있다.

[표 4-1] 이동평균 길이 3의 통계량

평균	표준편차	정규확률(P-값)	Durbin-Watson ratio
-0.01569	0.07102	0.660	1.98494

[표 4-1]에서 이동평균 길이 3의 잔차의 평균은 -0.01569로 0에 가까운 값을 가지며, 정규확률(P-값)이 0.660으로 <그림 4-1>에서와 동일하게 평균이 0인 정규분포에 근접하는 모습을 뒷받침하고 있다. Durbin-Watson ratio는 1.98494로 2에 근접하는 값으로 <그림 4-1>의 결과와는 다르게 잔차들의 독립함을 나타내고 있다.



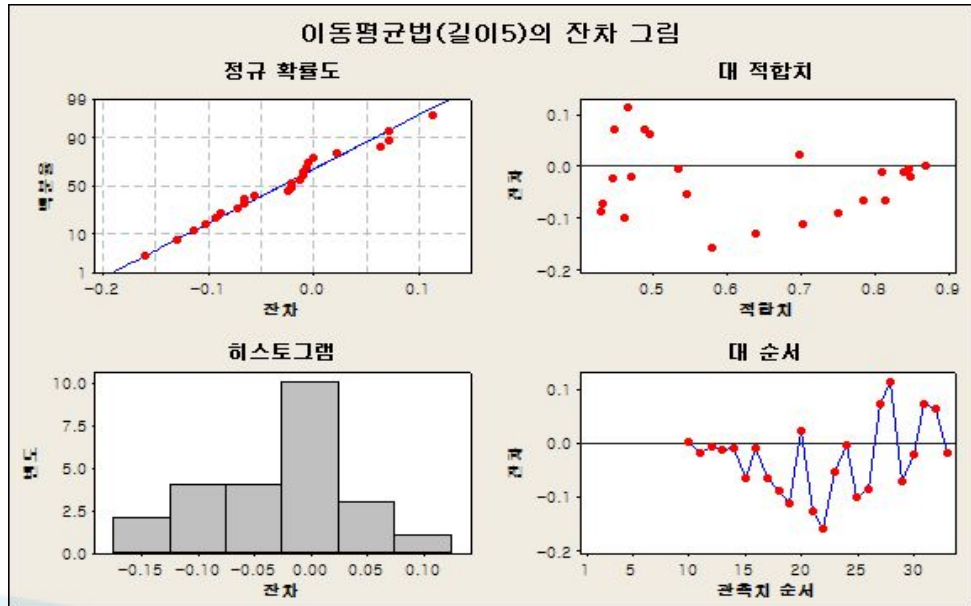
〈그림 4-2〉 이동평균 길이 4의 잔차분석

〈그림 4-2〉는 〈그림 4-1〉과 흡사한 모습을 하며, 결과 또한 정규 확률도와 히스토그램을 보면 비교적 평균을 0으로 하는 정규분포에 근접하는 모습을 보여주고 있다. 대 적합치를 보면 아래로 볼록한 2차 곡선을 하는 패턴이 관찰되며, 대 순서는 순서가 증가되면서 잔차의 절대값이 커지는 추세를 보여주고 있다.

[표 4-2] 이동평균 길이 4의 통계량

평균	표준편차	정규확률(P-값)	Durbin-Watson ratio
-0.01392	0.06871	0.369	1.78740

[표 4-2]에서 이동평균 길이 4의 잔차의 평균은 -0.01392로 0에 가까운 값을 가지지만, 정규확률(P-값)이 0.369으로 비교적 정규성이 떨어짐을 보여주며, Durbin-Watson ratio는 1.78740로 길의 3의 잔차의 결과와 상대적으로 작은 값을 가지지만, 잔차들의 독립함을 나타내고 있다.



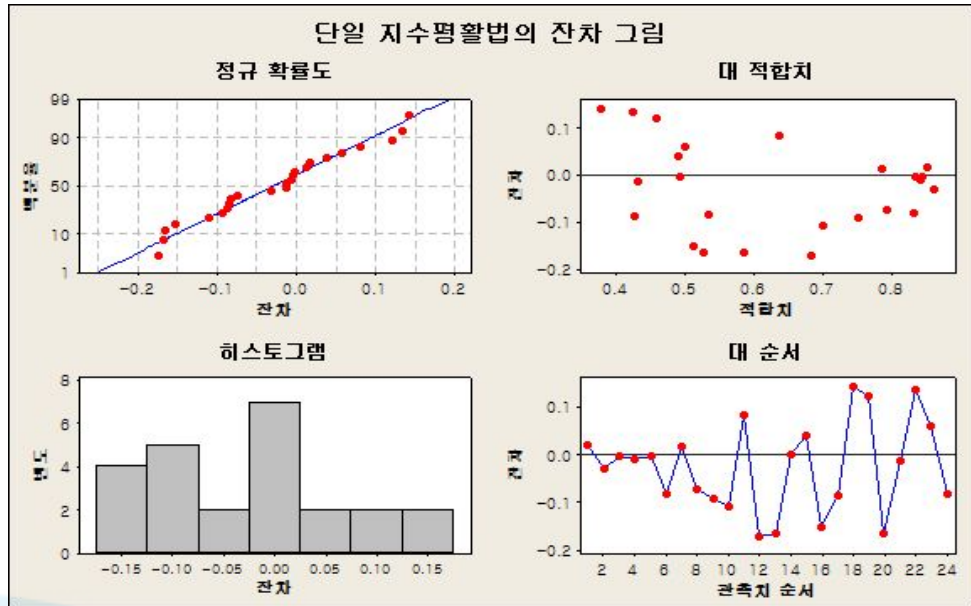
<그림 4-3> 이동평균 길이 5의 잔차분석

<그림 4-3>은 정규 확률도와 히스토그램을 보면 비교적 평균을 0으로 하는 정규분포에 근접하는 모습을 보여주고 있다. 대 적합치를 보면 아래로 볼록한 2차 곡선을 하는 패턴이 관찰되며, 대 순서는 순서가 증가되면서 잔차의 절대값이 커지는 추세를 보여주고 있다.

[표 4-3] 이동평균 길이 5의 통계량

평균	표준편차	정규확률(P-값)	Durbin-Watson ratio
-0.02955	0.06850	0.528	1.82064

[표 4-3]에서 이동평균 길이 5의 잔차의 평균은 -0.02955로 0에 가까운 값을 가지며, 정규확률(P-값)이 0.528로 <그림 4-3>에서와 동일하게 평균이 0인 정규분포에 근접하는 모습을 뒷받침하고 있다. Durbin-Watson ratio는 1.82064로 2에 근접하는 값으로 <그림 4-3>의 결과와는 다르게 잔차들의 독립함을 나타내고 있다.



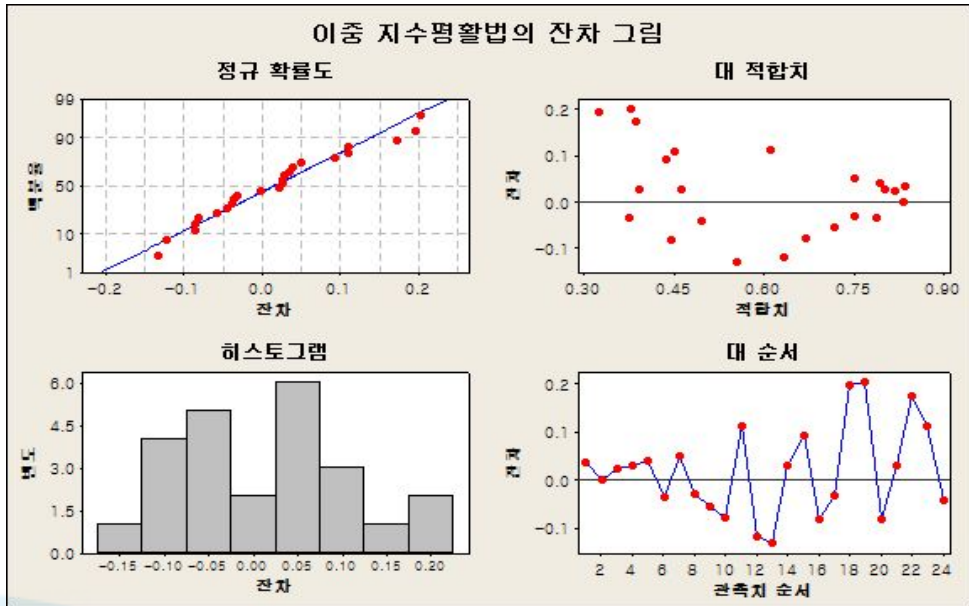
<그림 4-4> 단일지수평활법의 잔차분석

<그림 4-4>는 정규 확률도와 히스토그램을 보면 비교적 평균을 0으로 하는 정규분포에 근접하는 모습을 보여주고 있다. 대 적합치를 보면 아래로 볼록한 2차 곡선을 하는 패턴이 관찰되며, 대 순서는 순서가 증가되면서 잔차의 절대값이 커지는 추세를 보이고 있지만 이동평균법 보다는 추세的大小가 비교적 작은 것을 보여준다.

[표 4-4] 단일지수평활법의 통계량

평균	표준편차	정규확률(P-값)	Durbin-Watson ratio
-0.02700	0.09462	0.539	2.00993

[표 4-4]에서 단일지수평활법 잔차의 평균은 -0.02700으로 0에 가까운 값을 가지며, 정규확률(P-값)이 0.539로 <그림 4-4>에서와 동일하게 평균이 0인 정규분포에 근접하는 모습을 뒷받침하고 있다. Durbin-Watson ratio는 2.00993로 2에 매우 근접하는 값으로 독립성이 상대적으로 이동평균법보다 크다.



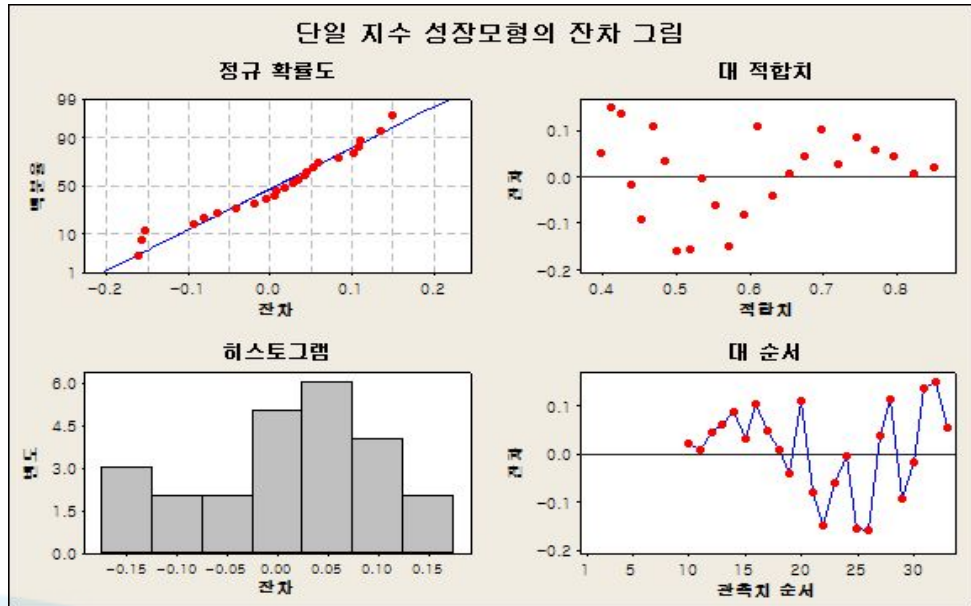
<그림 4-5> 이중지수평활법의 잔차분석

<그림 4-5>는 <그림 4-4>와 흡사한 모습을 하며, 결과 또한 정규 확률도와 히스토그램을 보면 비교적 평균을 0으로 하는 정규분포에 근접하는 모습을 보여주고 있다. 대 적합치와 대 순서의 결과 또한 흡사한 모습을 하고 있다.

[표 4-5] 이중지수평활법의 통계량

평균	표준편차	정규확률(P-값)	Durbin-Watson ratio
0.01724	0.09467	0.401	1.91634

[표 4-5]에서 이중지수평활법 잔차의 평균은 0.01724으로 0에 가까운 값을 가지며, 정규확률(P-값)이 0.401로 상대적으로 정규성이 떨어지며, Durbin-Watson ratio는 1.91634로 2에 가까운 값으로 잔차의 독립함을 나타내고 있다.



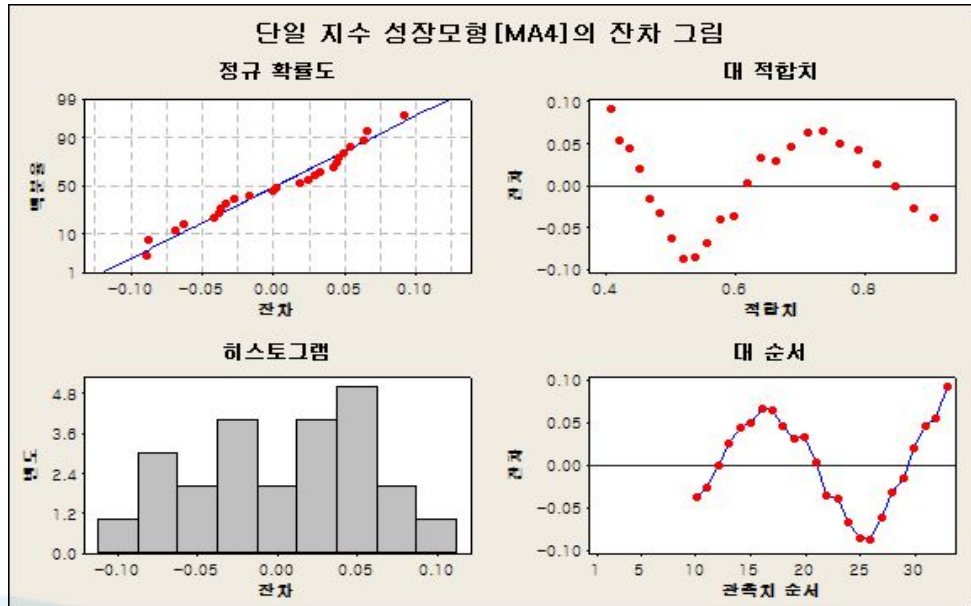
〈그림 4-6〉 단일지수성장모형의 잔차분석

〈그림 4-6〉의 정규 확률도를 보면 0을 중심으로 모여 있는 것을 볼 수 있지만, 히스토그램은 오른쪽으로 치우쳐져 있다. 대 적합치는 3차 곡선의 패턴을 보여주며, 대 순서는 순서가 증가되면서 잔차의 절대값이 커지는 추세를 보여주고 있다.

[표 4-6] 단일지수성장모형의 통계량

평균	표준편차	정규확률(P-값)	Durbin-Watson ratio
0.009110	0.09058	0.391	1.28335

[표 4-6] 결과는 〈그림 4-6〉의 결과와 동일하게 평균이 0.009110으로 0의 상당히 근접하지만 정규확률이 0.391로 비교적 정규성이 떨어지며, Durbin-Watson ratio이 1.28335로 잔차들의 자기상관이 존재함을 알 수 있다.



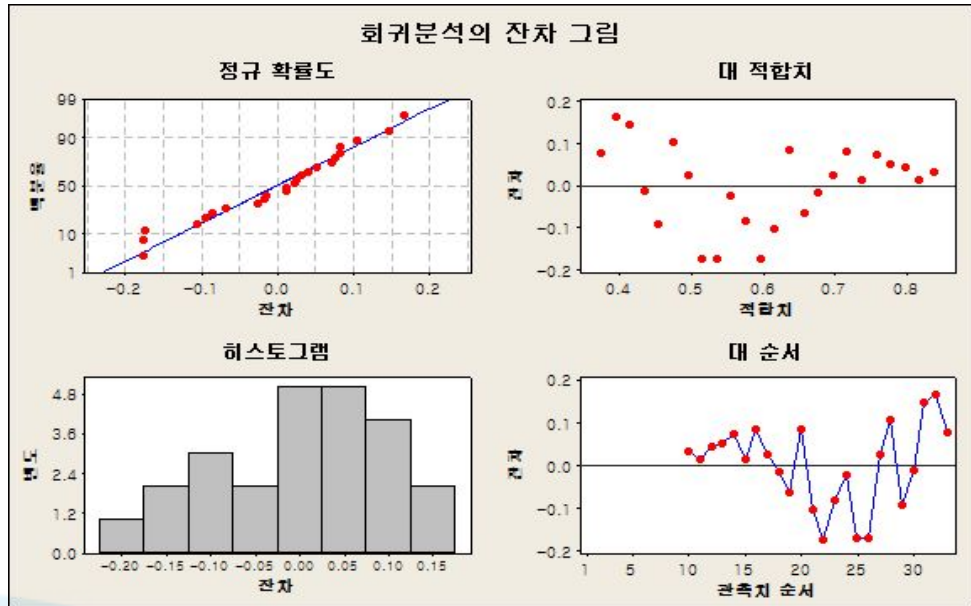
<그림 4-7> 단일지수성장모형(MA4)의 잔차분석

<그림 4-7>의 정규 확률도와 히스토그램을 보면 잔차들이 비교적 0과 떨어져서 분포하고 있고, 대 적합치와 대 순서를 보면 눈으로도 확연히 잔차들의 자기상관함을 보여준다.

[표 4-7] 단일지수성장모형(MA4)의 통계량

평균	표준편차	정규확률(P-값)	Durbin-Watson ratio
0.002454	0.04976	0.208	1.11645

[표 4-7] 평균이 0.002454로 0과 가깝지만, 정규확률이 0.208로 정규성이 매우 떨어지며, Durbin-Watson ratio 또한 1.11645로 자기상관도가 큼을 보여준다.



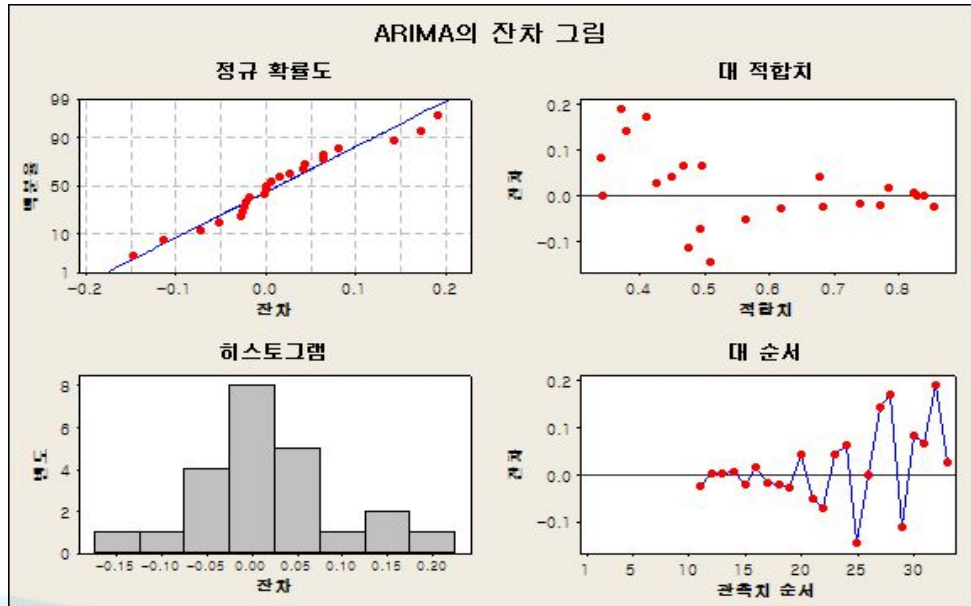
<그림 4-8> 회귀분석의 잔차분석

<그림 4-8>에서 정규 확률도와 히스토그램을 보면 비교적 평균을 0으로 하는 정규분포에 근접하는 모습을 보여주고 있다. 대 적합치를 보면 3차곡선을 하는 패턴이 관찰되며, 대 순서는 순서가 증가되면서 잔차의 절대값이 커지는 추세를 보여주고 있다.

[표 4-8] 회귀분석의 통계량

평균	표준편차	정규확률(P-값)	Durbin-Watson ratio
0	0.09720	0.355	0.167782

[표 4-8] 평균이 0이지만, 정규확률이 0.355로 정규성이 매우 떨어지며, Durbin-Watson ratio 또한 1.167782로 독립성이 비교적 결여됨을 보여준다.



<그림 4-9> ARIMA의 잔차분석

<그림 4-9>에서 정규 확률도와 히스토그램을 보면 비교적 평균을 0으로 하는 정규분포에 근접하는 모습을 보여주고 있다. 대 적합치를 보면 적합치가 커질수록 잔차의 절대값이 감소하는 패턴을 가지고 있고, 대 순서는 순서가 증가되면서 잔차의 절대값이 커지는 추세를 보여주고 있다.

[표 4-9] ARIMA의 통계량

평균	표준편차	정규확률(P-값)	Durbin-Watson ratio
0.006071	0.08190	0.415	2.04557

[표 4-9]에서 ARIMA 잔차의 평균은 0.006071로 0에 가까운 값을 가지며, 정규확률(P-값)이 0.415로 비교적 정규성이 떨어짐을 보여준다. Durbin-Watson ratio는 2.04557로 2에 상당히 근접하는 값으로 <그림 4-9>의 결과와는 다르게 잔차들의 독립함을 나타내고 있다.

제 2 절 연구결과 비교

[표 4-10]은 155mm탄약 추진제의 안정제 함량 데이터를 가지고 통계적 분석방법을 적용한 추정값들의 종합적인 결과이다.

정확도 측도 중 MSD를 중점으로 모형들을 비교해보면, 작계는 0.0023 부터 크계는 0.0098로 전체적으로 MSD의 값이 충분히 작지만, 그 중에서 이동평균법이 상대적으로 우수한 결과값을 보여준다.

다음 정확도 측도인 잔차의 정규확률 (P-값)도 이동평균법이 상대적으로 우수한 결과값을 보여준다.

마지막 측도인 DW ratio 관점으로 종합해보면, 단일지수성장모형을 제외하고는 잔차의 자기상관이 없고, 독립변수와 독립함을 보여준다.

[표 4-10] 통계적 모형들의 추정값

정확도 측도	이동평균법			지수평활법		단일지수 성장모형	단일지수 성장모형 (MA4)	회귀분석 (선형)	ARIMA
	MA(3)	MA(4)	MA(5)	단일	이중				
MSD	0.0051	0.0047	0.0054	0.0093	0.0089	0.0079	0.0023	0.0098	0.0074
잔차의 정규확률 (P-값)	0.660	0.369	0.528	0.539	0.401	0.391	0.208	0.355	0.415
DW ratio	1.98494	1.78740	1.82064	2.00993	1.91634	1.28335	1.11645	0.16778	2.04557

[표 4-11]은 155mm탄약 추진제의 안정제 함량 수명(0.3%이하)의 모형별 예측값을 나타낸 것이다. 이동평균법과 지수평활법은 수명 예측이 불가능한 방법이기 때문에 비교대상에서 제외하였다.

[표 4-11] 통계적 모형들의 예측값

수명주기 예측비교(년)	단일지수 성장모형	단일지수 성장모형(MA4)	회귀분석 (선형)	ARIMA
하한값 (95% 예측구간)	30	29	33	36
평균값	42	40	37	43



HANSUNG
UNIVERSITY

제 5 장 결론 및 향후 연구 방향

본 연구는 저장탄약의 수명주기를 분석하는데 다양한 통계적 분석방법들을 ASRP의 실제 데이터에 적용하여 다양한 관점을 제시하는데 있다.

저장탄약의 수명에 영향을 미치는 여러 가지 요인이 존재한다. 이 연구에서는 여러 가지 요인 중 추진제의 안정제 함량을 중심으로 다양한 통계적 분석방법들을 적용하여, 각 분석방법들의 적합도를 검정하고 수명예측을 하였다. 적합도 측면으로는 수치적으로 의미 있는 결과값을 가지고 있으나, 예측값 측면에서는 분석 방법 간에 상당히 큰 차이를 보여준다. 이러한 문제점은 축적된 데이터의 부족이 가장 큰 영향을 미쳤다고 판단된다.

연구가 진행되면서 저장 탄약의 신뢰성 확보와 군 전투력향상을 위해서 신뢰성이 높은 저장 탄약의 수명을 예측하는 업무는 다시금 상시 전투태세 유지에 매우 중요한 임무임을 깨달을 수 있다. 또한 신뢰성이 높은 저장 탄약의 수명 예측을 위해서는 ASRP 계획 수립 및 수행이 과학적이고 체계적인 틀 안에서 이루어져야 하겠다. 관련 조직 간의 원활한 업무지원을 위해 해당 기관, 업체 간 지식관리체계를 구축함으로써 탄약관련 기술정보를 포함한 탄약 신뢰성 시험 결과, 자료의 환류를 통해 탄약의 전 수명기간 동안의 관리, 기술축적, 신뢰도 평가 및 탄약 품질보증이 이루어질 수 있도록 함이 바람직하겠다.

향후 연구 방향으로 저장탄약의 신뢰도 높은 수명주기 분석을 위해서 ASRP의 과학적이고 체계적인 개념 연구가 이루어져야 하겠다. 또한 제한적인 본 연구영역(155mm곡사포)에서 다양한 탄종의 확대적용이 요구되며, 저장탄약의 수명주기에 영향을 미치는 탄약고의 기후조건과 보관방식 등과 같은 정성적인 자료를 포함한 연구가 이뤄져야겠다. 이와 동반하여 저장, 폐기 등 탄약의 유지비용을 환산하여 비용 대 효과분석이 요구된다.

【참고문헌】

1. 국내문헌

- [1] 김연형, 「시계열분석」, 자유아카데미, 1994년 8월.
- [2] 김해경 외 1인, 『시계열 분석과 예측 이론』, 경문사, 2003년 8월.
- [3] 노형진, 『SPSS/Excel을 활용한 알기 쉬운 시계열분석』, 학현사, 2011년 2월.
- [4] 서순근, 『MINITAB 신뢰성분석』, (주)이레테크, 2001년.
- [5] 이정우, 「ASRP 바로 알고 이해하기」, 『국방과 기술 국방과학논단』, 2010년 5월.
- [6] 최석철 외 3인, 「저장탄약 신뢰성 향상을 위한 ASRP 발전방안 연구」, 『한국군사과학기술학회지』, 2005년 12월.
- [7] 국방기술품질원, 저장탄약 신뢰성 평가업무, 2005년 1월.
- [8] 국방기술품질원, 업무혁신 사례, 2005년 6월.

2. 국외문헌

- [1] Bovas, Abraham. 1983. *Statistical Methods for Forecasting*.
- [2] Durbin, James, Koopman, Siem Jan. 2001. *Time series analysis by state space models*.
- [3] George, E, P, Box and Gwilym, M, Jenkins and Gregory C, Reinsel. 1994. *Time series Analysis*.
- [4] Gouriéroux, C. 1997. *Time series and dynamic models*.
- [5] John Neter and Michael H. Kutner and Christopher J. Nachtsheim and William Wasserman. 1990. *Applied Linear Regression Models*.
- [6] Richard, F, Gunst and Robert, L, Mason. 1980. *Regression Analysis and Its Application a Data-Oriented Approach*.
- [7] Terry E, Dielman. 1991. *Applied Regression Analysis for Business and Economics*.
- [8] William, W, S, Wei. 1990. *Time Series Analysis*.

ABSTRACT

A Statistical Analysis for the Self-Life Prediction of Ammunition

-Focused on propellant's stabilizer-

Kim, Hee Bo

Major in Industrial and Systems Engineering

Department of Industrial and Systems Engineering

Graduate School, Hansung University

Predicting the shelf-life of stockpiled ammunition has practical meaning in the core value of military support. This research analyzes the shelf-life of ammunition by applying statistical analyses (moving average, exponential smoothing, exponential growth curve, regression analysis, ARIMA) based on reports from ASRP of the 155mm and KD541 performed during 2001-2006. This study applied the statistical analyses using MINITAB to measure the amount of stabilizer versus time, which is different from conventional regression analyses.