



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](#)

碩士學位 請求論文

指導教授 李 恒 碩

PCA모형을 이용한 금리리스크
산출 및 분석

成均館大學校 一般大學院

保險計理學科

現 璁 河

碩士學位請求論文

PCA모형을 이용한
금리리스크 산출 및 분석

2020

現
璽
河

碩士學位 請求論文

指導教授 李 恒 碩

PCA모형을 이용한 금리리스크
산출 및 분석

Interest risk measurement and analysis
using Principal Component Analysis Model

成均館大學校 一般大學院

保險計理學科

現 璵 河

碩士學位 請求論文

指導教授 李 恒 碩

PCA모형을 이용한 금리리스크 산출 및 분석

Interest risk measurement and analysis
using Principal Component Analysis Model

이 論文을 保險計理學 碩士學位請求論文으로
提出합니다.

2019 年 10 月 日

成均館大學校 一般大學院

保險計理學科

現 璫 河

이 論文을 現璉河의 保險計理學
碩士學位 論文으로 認定함

2019 年 12 月 日

審査委員長

審査委員

審査委員

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구목적	1
제2절 선행연구	4
제3절 논문의 구성	4
제2장 금리리스크 측정 방법	5
제1절 RBC제도의 금리리스크	5
제2절 ICS의 금리리스크	7
1. CIR(Cox-Ingersoll-Ross, 2015년)	7
2. PCA(Principal Component Analysis, 2016년)	8
3. DNS(Dynamic Nelson-Siegel, 2017년~2019년)	9
4. AFNS(Arbitrage-Free Dynamic Nelson-Siegel, 2018년)	12
제3장 ICS-PCA 금리리스크 측정 방법	13
제1절 PCA모형 개요	13
제2절 데이터	16
제3절 무위험이자율에 대한 PCA모형 적용 적합성	17
제4절 무위험이자율 시나리오 생성	24
제4장 RBC제도와 ICS-PCA 금리리스크의 비교 및 분석	27
제1절 금리리스크 산출 결과	28

제2절 다양한 만기의 국채에 투자한 경우의 금리리스크	30
1. RBC제도 만기불일치 위험액	33
2. ICS-PCA 금리리스크	34
제5장 요약 및 결론	40
제1절 연구의 결과	40
제2절 연구의 의의	41
제3절 개선 방향	41
참고문헌	43
ABSTRACT	45

표 목차

<표 1-1> 무위험이자율 시나리오 산출 모형	2
<표 2-1> 듀레이션갭법 금리리스크	5
<표 2-2> RBC제도 금리리스크 산출식	7
<표 2-3> CIR모형을 적용한 금리리스크 산출식	8
<표 2-4> PCA모형을 적용한 금리리스크 산출식	9
<표 2-5> DNS모형을 적용한 금리리스크 산출식(2017~2018년)	10
<표 2-6> DNS모형을 적용한 금리리스크 산출식(2019년)	11
<표 3-1> 만기별 무위험이자율 상관계수	18
<표 3-2> 무위험이자율 주성분별 표준편차, 고유값 및 설명력	19
<표 3-3> 무위험이자율 주성분의 고유벡터	20
<표 3-4> 로그 무위험이자율 주성분별 설명력	24
<표 3-5> 로그 무위험이자율 고유벡터	24
<표 3-6> 시나리오별 충격비율	26
<표 4-1> 사망담보 정기보험 가정	27
<표 4-2> ICS-PCA 금리리스크	29
<표 4-3> RBC제도 만기불일치 위험액	29
<표 4-4> 다양한 만기의 국채에 투자한 경우의 금리리스크	30
<표 4-5> 듀레이션 변화에 따른 RBC 금리리스크	33
<표 4-6> 듀레이션 변화에 따른 ICS-PCA 금리리스크	34
<표 4-7> 만기 20년과 30년 국채 투자시 첫번째 주성분 시나리오	35
<표 4-8> level-down시 만기 5년과 만기 15년 국채의 가치 변동액	37
<표 4-9> ICS-PCA 금리리스크와 지급여력 비율	38

그림 목차

[그림 1-1] 무위험이자율 곡선	3
[그림 2-1] 금리변동에 따른 자산·부채의 현재가치 변화	6
[그림 3-1] PCA모형의 주성분 개념	14
[그림 3-2] 만기별 이자율에서 추출한 독립적인 주성분	15
[그림 3-3] 2010.1월~2018.12월 무위험이자율 추이	16
[그림 3-4] 연도별 만기별 무위험이자율 추이	17
[그림 3-5] 만기별 무위험이자율의 biplot	18
[그림 3-6] 무위험이자율 주성분의 고유벡터 그래프	20
[그림 3-7] 외국 무위험이자율 주성분의 고유벡터	21
[그림 3-8] 미국과 한국의 국채금리 추이	22
[그림 3-9] 유로 이자율에 대한 상관계수 및 고유벡터	22
[그림 3-10] 무위험이자율 시나리오	26

논문 요약

PCA모형을 이용한 금리리스크 산출 및 분석

2022년 IFRS17 시행과 더불어 新지급여력제도(K-ICS)가 도입될 예정이며 리스크 측정방법도 RBC제도의 리스크계수 기준에서 충격 시나리오 방식으로 변경된다. 그러나 다양한 리스크 측정방법에도 불구하고 현재까지 보험회사의 지급여력비율에 가장 큰 영향력을 미치고 있는 것은 금리리스크이다. 따라서 보험회사 뿐만 아니라 많은 금융감독당국도 금리리스크 측정 및 관리에 대한 관심이 높다.

이에 본 연구에서는 ICS가 제시한 PCA(Principal Component Analysis)모형(ICS-PCA)를 이용하여 보험회사 금리리스크를 산출하고 이를 현행 RBC제도 리스크량과 비교·분석하였다. 자산 만기가 부채 만기보다 작을 경우 ICS-PCA 금리리스크가 RBC제도 리스크량에 비해 크게 나타나며, 자산 부채의 모든 현금흐름을 고려하여 산출한 듀레이션 갭이 작을수록 ICS-PCA 금리리스크가 작게 나타났다. 이에 듀레이션 갭 축소를 위한 보험회사의 다양한 노력이 필요할 것으로 생각된다. 또한 분석을 통해 ICS-PCA 금리리스크가 보험회사의 실제 리스크량을 반영하는데 일부 한계가 있음을 확인함에 따라 현행 ICS-PCA 금리리스크 산출식에 대한 개선 방향 및 향후 필요한 연구방향도 제시하였다.

주제어 : ICS, PCA, RBC, 주성분분석, 금리리스크

제1장 서론

제1절 연구목적

금융감독당국은 2022년 도입예정인 IFRS17과의 연계를 고려하여 新지급여력제도(이하 'K-ICS') 도입을 준비하고 있으며 리스크량을 산출하는 방식이 기존과 크게 달라질 예정이다. 현행 RBC제도에서는 익스포저에 위험계수를 곱하여 리스크량을 산출하는 리스크계수 기준 모형(risk factor-based)을 사용하고 있다. 그러나 EU가 2016년부터 시행한 Solvency II와 국제보험감독자협회(International Association of Insurance Supervisors, 이하 'IAIS')가 추진중인 자본규제(Insurance Capital Standard, 이하 'ICS')에서는 금리리스크 등에 대해 시나리오를 적용하여 산출한 순자산가치의 변동량을 리스크량으로 측정하고 있다. 국내의 K-ICS 1.0(2018.4월)이나 K-ICS 2.0(2019.7월)에서도 ICS의 충격 시나리오 방식을 도입하고 있다.

리스크량을 측정하는 방법은 다양하지만 보험회사에서 가장 큰 비중을 차지하는 리스크는 금리리스크라고 할 수 있다. 2016년 6월말 RBC비율 전체 리스크량 중 금리리스크가 차지하는 비중이 생명보험회사는 56.9%, 손해보험회사는 25.4%로 높고¹⁾, 현재까지 금리리스크는 RBC비율의 주요 변동요인으로 작용하고 있다. IAIS가 2015년에 실시한 Field Test에서도 금리리스크를 포함한 시장리스크가 전체 리스크량의 20.8%²⁾, 2016년 Field Test에서는 29.3%³⁾를 차지하는 등 높게 나타났다. 따라서 보험회사뿐만 아니라 금융감독당국도 금리리스크를 측정하고 관리하는데 많은 관심을 갖고 있다. 따라서 ICS 등에서 논의 중인 금리리스크 측정 방법에 대한 이해와 연구가

1) 금융감독원, 보험회사 위험기준 자기자본제도 해설서 p.70, 2017.1월

2) Risk-based Global Insurance Capital Standard Version 1.0 p.94, 2016.7월

3) Risk-based Global Insurance Capital Standard Version 1.0 for Extended Field Testing, p.61, 2017.7월

필요하다.

먼저 시나리오를 적용하여 리스크량을 산출하기 위해서는 자산과 부채의 현금흐름을 할인하기 위한 무위험이자율 시나리오가 필요하다. 그간, ICS는 다양한 무위험이자율 시나리오를 산출하는 방법을 제시하고 2019년까지 Field Test를 실시하였는데 이를 정리하면 <표 1-1>과 같다. K-ICS는 2017년 DNS(Dynamic Nelson-Siegel, 이하 'DNS')방식으로 Field Test를 실시하였고 K-ICS 2.0에서도 동일한 방법을 제시하고 있다. Solvency II에서는 2016년부터 PCA(Principal Component Analysis, 이하 'PCA')를 이용하여 무위험이자율 시나리오를 생성하고 있다.

<표 1-1> 무위험이자율 시나리오 산출 모형

K-ICS	ICS				Solvency II
2017년	2015년	2016년	2017년	2018년	2016년
DNS	CIR ⁴⁾	PCA	DNS	AFNS ⁵⁾	PCA

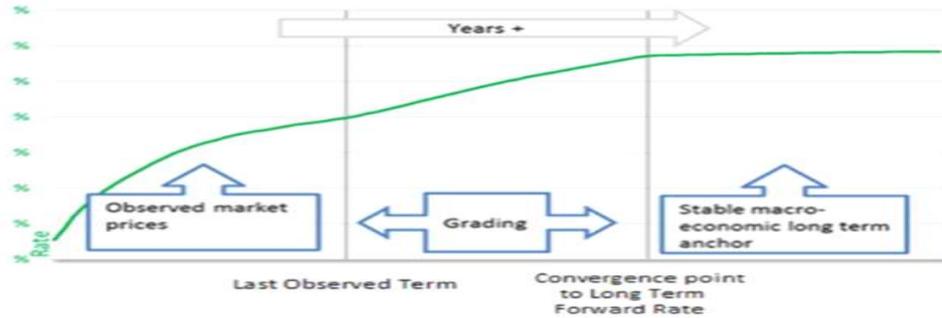
(출처: 금융감독원, IAIS, EIOPA(European Insurance and Occupational Pensions Authority))

ICS는 아래 [그림 1-1]과 같이 무위험이자율을 크게 3개 구간(segment)으로 나누어 설명하고 있다. 첫번째 구간에서는 각 통화별로 관찰된 만기별 무위험이자율을 사용하고 세번째 구간에서는 장기목표금리(long-term forward rate)를 사용하며 두번째 구간은 첫번째 구간과 세번째 구간을 Smith-Wilson방식으로 추정하도록 하고 있다. PCA 등 이자율 모형에 의해 산출하는 무위험이자율 시나리오는 첫번째 구간의 무위험이자율에 해당한다.

4) Cox-Ingersoll-Ross

5) Arbitrage-Free Dynamic Nelson-Siegel, ICS는 AFNS 방법으로 Field Test를 실시하지 않았으며 2018.7월 발표한 Risk-Based Global Insurance Capital Standard Version 2.0에서 동 모형에 대한 의견을 수렴한바 있다.

[그림 1-1] 무위험이자율 곡선



(출처: IAIS Base Yield Curve Methodology for ICS Version 2.0)

시나리오를 적용하여 리스크량을 산출하는 방법은 무위험이자율 시나리오를 산출하는 모형에 크게 의존하므로 모형에 대한 이해를 기반으로 리스크량을 측정하고 분석하는 과정이 중요하다. 이에 본 연구에서는 ICS가 제시한 PCA방식의 무위험이자율 시나리오 생성과정을 면밀히 살펴보는 한편 동 무위험이자율을 적용한 ICS-PCA 금리리스크량과 현행 RBC제도하에서의 금리리스크량을 비교·분석할 예정이다. 그리고 상이한 듀레이션 갭 상황에서 각 방법의 금리리스크량이 어떻게 변화하는지 살펴볼 예정이다.

현재 K-ICS에서는 DNS모형을 제시하고 있으나 보험회사는 제도적으로 요구하는 리스크량 뿐만 아니라 자사의 금리리스크를 가장 적절하게 측정할 수 있는 내부모형을 구축·운영할 수 있다. 내부모형에 대한 금융감독당국의 승인을 득한 경우에는 제도적 요구 리스크량을 내부모형의 리스크량으로 대체할 수 있다. 또한 유럽계 자회사인 경우에는 연결기준 지급여력비율 산출을 위해 PCA모형을 사용할 필요도 있다. 이에 분석대상 모델을 PCA모형으로 선정하였다.

제2절 선행연구

K-ICS 도입 논의가 시작되기 전에는 현행 RBC제도하에서의 금리리스크 측정방법, 위험계수의 적정성에 대한 연구가 진행되었다. 안준용, 이항석, 주효찬(2014)은 CIR모형과 Vasicek 모형을 적용하여 금리변동계수를 추정하고 금리수준별 RBC 금리리스크의 금리변동계수를 차별화할 것을 제안한 바 있다.

K-ICS 도입 논의 이후 노건엽(2018)은 PCA방법에 따른 금리리스크 측정방법을 소개하고 동 방법에 따라 금리확정형 연금보험의 금리리스크를 측정하였다. 노건엽, 장봉규 외 3인(2018)은 다양한 가정하에서의 DNS모형의 무위험이자율 시나리오의 변화를 살펴보고 PCA모형의 무위험이자율 시나리오와의 차이를 분석하였다. 노건엽, 박경국, 박찬원(2019)은 최근 ICS에서 검토중인 AFNS모형과 K-ICS 1.0에서 제시한 DNS모형을 비교·분석함으로써 DNS모형이 보다 안정적임을 보여준 바 있다. 선행연구에서는 주로 무위험이자율 시나리오를 산출하는 과정을 제시하고 있으나 현행 RBC제도하에서의 금리리스크와의 차이에 대한 분석은 부족하다.

제3절 논문의 구성

본 연구는 제1장에서 금리리스크 측정을 위한 무위험이자율 시나리오 산출방법에 대한 논의 및 연구 목적 그리고 이에 대한 선행 연구를 소개하였다. 제2장에서는 현행 RBC제도의 금리리스크 측정 방법과 ICS에서의 금리리스크 측정방법을 소개한다. 제3장에서는 ICS-PCA방법 및 의미에 대해 구체적으로 소개하고 동 방법에 따른 무위험이자율 시나리오를 산출하였다. 여기서 소개한 방법을 참고하여 제4장에서는 생명보험회사의 대표상품인 사망담보 정기보험의 ICS-PCA 금리리스크를 측정하고 현행 RBC제도하에서의 만기불일치 위험액과 비교하였다. 제5장에서는 본 연구의 결론 및 시사점에 대해 서술하면서 논문을 마무리하고자 한다.

제2장 금리리스크 측정방법

현재까지 은행의 BIS비율과 같이 국제적으로 표준화된 보험회사의 규제자본 비율은 없으나 각국의 보험회사 감독기관은 IAIS가 국제적 보험그룹(Internationally Active Insurance Group, 이하 'IAIG')에 적용하기 위해 제정중인 ICS를 참고하여 규제자본 비율을 제정하고 있다. 향후 도입될 K-ICS도 ICS가 제시한 방법 중 하나인 DNS모형을 인용하고 있다. 따라서 ICS가 제정하는 규제자본 비율이 국제적 표준이 될 가능성은 매우 높다고 볼 수 있다.

이번 장에서는 현행 RBC제도의 금리리스크 측정방법과 그간 ICS가 제시해 왔던 방법들을 소개하고자 한다. ICS의 금리리스크 측정방법은 방법론에 대한 소개보다 다양한 방법이 제기된 배경과 경과 등에 초점을 두고 설명하고자 한다.

제1절 RBC제도의 금리리스크⁶⁾

현행 RBC제도는 향후 1년간 금리 변동에 따른 순자산가치(자산-부채)의 변동을 금리리스크로 정의하고 듀레이션갭법을 이용하여 순자산가치 하락을 측정한다.

<표 2-1> 듀레이션갭법 금리리스크

$$\Delta \text{순자산가치} = -(D_A \times A - D_L \times L) \times \Delta \text{금리}$$

D_A : 금리부자산 듀레이션, D_L : 금리부부채 듀레이션

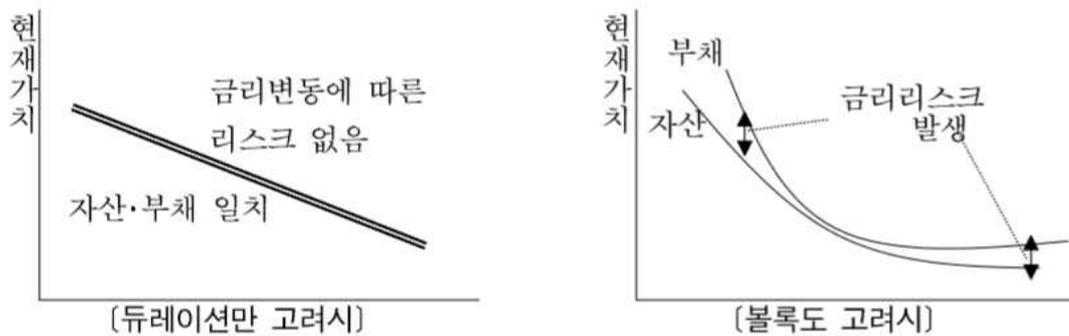
A : 금리부자산 익스포저, L : 금리부부채 익스포저

6) 금융감독원, 보험회사 위험기준 자기자본(RBC)제도 해설서(2017.1월)를 참고하여 작성하였다.

일반적으로 보험회사의 보험상품 만기는 장기인 반면 수취한 보험료로 운용하는 자산의 만기는 상대적으로 짧아 음(-)의 듀레이션갭 값을 갖게 된다. 따라서 금리가 상승하면 만기가 긴 부채가치가 하락하여 순자산가치가 상승하고, 금리가 하락하면 순자산가치가 감소한다.

듀레이션갭법은 금리변동과 자산·부채가치 변동을 선형관계로 가정하고 있으나 채권형태인 금리부자산 및 부채는 [그림 2-1]과 같이 금리변동과 관련하여 원점에 대해 볼록한 비선형관계를 가지고 있다. 이러한 볼록성으로 인해 금리 변동폭이 클 경우 듀레이션갭법에 의한 순자산가치 변동 측정치의 오차가 크게 발생한다.

[그림 2-1] 금리변동에 따른 자산·부채의 현재가치 변화



(출처: 보험회사 위험기준 자기자본(RBC)제도 해설서(2017.1월))

이에 RBC제도에서는 최저보증이율과 공시기준이율간의 금리차별로 위험계수를 적용하여 산출한 최저금리위험액을 금리리스크의 최저요구자본으로 설정하고 있다. 또한 보험계약의 적립이율과 자산운용수익률의 차이로 인한 손익관점의 손실인 금리역마진위험에 대한 자본적립도 요구하고 있다. RBC제도 금리리스크 산출식을 요약하면 <표 2-2>와 같다. 제4장에서 ICS-PCA 금리리스크와 비교될 RBC제도의 금리리스크는 금리리스크 산출의 기초가 되는 만기불일치 위험액을 의미한다.

<표 2-2> RBC제도 금리리스크 산출식

$$\text{금리위험액} = \text{Max}\{\text{만기불일치위험액, 최저금리위험액}\} + \text{금리역마진위험액}$$

$$\begin{aligned} \text{만기불일치위험액} &= |\text{금리부자산 금리민감액} - \text{보험부채 금리민감액}| \times \text{금리변동계수}(1.5\%) \\ \text{금리부자산 금리민감액} &= \sum(\text{금리부자산 익스포저} \times \text{듀레이션}) \\ \text{보험부채 금리민감액} &= \sum(\text{보험부채 익스포저} \times \text{듀레이션}) \end{aligned}$$

제2절 ICS의 금리리스크

IAIS는 2013년 10월 자본규제의 비교가능성을 제고하기 위해 IAIG에 공통으로 적용 가능한 자본기준인 ICS의 제정 계획을 발표하였다. 2014년 12월 IAIS는 금리리스크 측정방법으로 현행 RBC제도와 유사한 듀레이션을 기초로 한 방법과 무위험이자율 시나리오를 적용하여 산출한 순자산가치 하락을 리스크량으로 측정하는 방법을 제시하였다. 당시 IAIS 회원과 주주들은 시나리오 방식의 리스크 측정방법을 지지하였다.

의견수렴 과정에서 무위험이자율 시나리오 산출 방식으로 처음으로 CIR모형이 제기되었으며 시나리오는 금리상승(parallel upward), 금리하락(parallel downward), 금리평탄(flattening), 금리경사(steeptening) 시나리오가 제기되었다. 대부분의 주주들은 금리상승 및 금리하락 시나리오가 금리리스크를 측정하는데 적합하다는 의견을 제시하였다.⁷⁾

1. CIR(Cox-Ingersoll-Ross, 2015년)⁸⁾

IAIS는 2015년 CIR모형으로 금리상승 및 금리하락 그리고 IAIS가 필요하다고 판단한 금리평탄 시나리오를 산출하여 금리리스크를 측정하는 Field Test를 진행하였

7) IAIS Responses to 2014 ICS Consultation Comments(Market Risks)(2016)

8) Instructions for the April 2015 Quantitative Data Collection Exercise(2015)

다. 즉 자산·부채의 현금흐름을 CIR모형의 시나리오별 무위험이자율로 할인하여 순자산가치를 산출하고 이를 평가일의 순자산가치와 비교하여 그 변동액을 금리리스크량으로 구하는 방법이다. CIR모형의 무위험이자율 시나리오 산출식은 <표 2-3>과 같으며, 금리리스크량은 시나리오별 순자산가치 하락액이 가장 큰 값으로 결정한다. 그러나 CIR방법에서는 통화별 이자율 특성이 반영되지 않고 모든 이자율에 대해 같은 모수값(a~d)을 사용한다는 단점이 있었다.

<표 2-3> CIR모형을 적용한 금리리스크 산출식

구분	산출식	
금리상승 무위험이자율	$r'_i = r_i + a_i \sqrt{\max(r_i, 0.5\%)} + b_i$	r : 만기별 무위험이자율 a, b, c : 양수로 주어진 값 d : 단기는 양수 장기는 음수로 주어진 값
금리하락 무위험이자율	$r'_i = r_i - a_i \sqrt{\max(r_i, 0.5\%)} + b_i$	
금리평탄 무위험이자율	$r'_i = r_i + c_i \sqrt{\max(r_i, 0.5\%)} + d_i$	
금리리스크량	Max(금리상승시 순자산가치 하락, 금리하락시 순자산가치 하락, 금리평탄시 순자산가치 하락)	

(자료: Instructions for the April 2015 Quantitative Data Collection Exercise. p.133-136)

2. PCA(Principal Component Analysis, 2016년)⁹⁾

2016년 Field Test에서는 통화별 이자율 특성을 반영하기 위해 2010년 이후 6년 동안 각국의 만기별 무위험이자율에 PCA모형을 적용하여 무위험이자율 시나리오를 산출하는 방법을 제시하였다. 유럽의 Solvency II도 PCA를 적용하여 무위험이자율 시나리오를 산출하고 있으나 ICS에서 제시한 PCA 방법과 차이가 있다. Solvency II에서는 무위험이자율의 절대적차이($R_{t+1} - R_t$)에 PCA모형을 적용하는 반면 ICS

9) Risk-based Global Insurance Capital Standard Version 1.0 Public Consultation Document(2016.7월)

Version 1.0에서는 상대적차이($\ln(\frac{1+R_{t+1}}{1+R_t})$)에 PCA모형을 적용한다. 노건엽, 장봉규 외 3인(2018)에 따르면 절대충격 방식과 상대충격 방식이 큰 차이는 없으나 상대충격 방식의 무위험이자율 시나리오 금리가 덜 상승하고 덜 하락하는 것으로 나타났다. 또한 장기 목표금리(long-term forward rate)에도 15%의 변동을 주었고, 관찰된 만기별 무위험이자율간의 내분이나 마지막 관찰일의 무위험이자율과 60년(K-ICS)이후의 장기 목표금리까지의 외분은 Smith-Wilson방법으로 사용하도록 하였다.

금리상승 및 하락 시나리오는 PCA모형의 첫번째 주성분(component)을 활용하고, 금리평탄 시나리오는 두번째 주성분을 활용하여 산출한다. 2016년 Field Test 시나리오는 2015년과 동일하게 3개이나 <표 2-4>와 같이 금리리스크를 산출하는 식에 차이가 있다. 첫번째 주성분의 리스크량은 금리하락과 금리상승시의 순자산가치 하락이 큰 값을 의미하며 두번째 주성분의 리스크량은 금리평탄시 순자산가치 하락액을 의미한다. 또한 첫번째 주성분과 두번째 주성분은 서로 독립이므로 두 주성분으로 인한 리스크량을 합산한다. 당시 IAIS는 금리경사 시나리오의 경우 다른 시나리오에 비해 순자산가치 하락액이 작기 때문에 금리리스크 산출시 제외하였다고 설명하였다.

<표 2-4> PCA모형을 적용한 금리리스크 산출식

$$\sqrt{(Risk\ amount\ from\ 1st\ PC)^2 + (Risk\ amount\ from\ 2nd\ PC)^2}$$

(자료 : Instructions for the May 2016 Quantitative Data Collection Exercise. p.189)

3. DNS(Dynamic Nelson-Siegel, 2017년 ~ 2019년)¹⁰⁾

ICS Working Group은 기존의 PCA방식은 서로 다른 통화간의 영향력을 조정할

10) ICS Version 1.0 for Extended Field Testing(2017.7월), ICS Version 2.0(2018.7월)

수 있는 방법이 없고, CIR은 금리가 낮은 통화에 대해 금리리스크량을 과대평가하는 문제가 있어¹¹⁾ 새로운 방법인 DNS를 2017년 Field Test에 사용하였다. 또한 IAIS 회원들이 이자율이 비틀리면서 상승 또는 하락하는 시나리오가 순자산가치 변동에 중요한 영향을 미친다는 것을 제시함에 따라 2017년 Field Test에서는 금리상승 및 하락, 비틀림 상승 및 하락 그리고 평균회귀 총 5개의 시나리오가 사용되었다. 당시 IAIS는 만약 PCA모형이 다시 적용된다면 2016년 Field Test에서 배제하였던 금리경사 시나리오도 포함해야 한다는 의견을 제시하였다. 금리리스크는 5개 시나리오의 순자산가치 변동액을 <표 2-5>의 식에 넣어 산출한다. 이때 금리상승 및 하락, 비틀림 상승 및 하락은 서로 독립이므로 PCA방식과 동일하게 두 요인으로 인한 금리리스크를 합산하여 산출한다. 다만 금리상승 및 하락, 비틀림 상승 및 하락에서는 순자산가치 하락 즉 손실만을 고려하지만 평균회귀(mean reversion) 시나리오에서 발생하는 이익은 금리리스크량에서 차감한다는 차이가 있다.

<표 2-5> DNS모형을 적용한 금리리스크 산출식(2017~2018년)

Gain or loss under mean reversion scenario

$$+\sqrt{\text{Max loss (level up, level down)}^2 + \text{Max loss (twist up to down, twist down to up)}^2}$$

(자료 : ICS Version 1.0 for Extended Field Testing. p.89)

평균회귀 시나리오는 DNS모형에 따라 예측한 만기별 무위험이자율 시나리오이며 금리상승 및 하락, 비틀림 상승 및 하락 시나리오의 순자산가치 변동은 평균회귀 시나리오의 순자산가치와의 차이로 산출된다. ICS Version 2.0에 대한 Comment에서 제기된 것과 같이 DNS모형은 평가일의 실제 순자산가치와 비교하여 리스크량을 산출하지 않는다는 문제점이 있다. 즉 추정된 평균회귀 시나리오와 비교하여 산출한 순자산가치의 증감을 보험회사의 실질적인 리스크량으로 볼 수 있는가에 대

11) ICS Version 1.0 for Extended Field Testing(2017.7월)

한 의문을 제기하지 않을 수 없다.

IAIS는 2018년과 2019년에 DNS모형을 적용한 무위험이자율 시나리오로 금리리스크를 산출하는 Field Test를 진행하였다.¹²⁾ 다만 2019년 Field Test에서는 금리리스크를 산출하는 식이 <표 2-6>에서 보는 바와 같이 바뀌었다. 평균회귀 시나리오에서 발생한 이익을 금리리스크량에서 차감하던 방법이 제외되었고, 금리상승 및 하락 시나리오와 금리 비틀림 상승 및 하락 시나리오의 순자산가치 하락액에 적용했던 루트가 제외되었다. 또한 2018년 Field Test에서 암묵적으로 가정한 각 통화별 level(X)간 및 각 통화별 twist(Y)간의 상관계수 75%를 공식화하였다.

<표 2-6> DNS모형에 의한 금리리스크 산출식(2019년)

$\sum_i MR_i + VaR_{99.5}(\sum_i LT_i)$ $corr(X_i, X_j) = corr(Y_i, Y_j) = 75\%$ $corr(X_i, Y_j) = 0\%$	<p><i>MR_i</i> = Loss under mean reversion scenario</p> <p><i>LU_i</i> = Loss under level up stress scenario</p> <p><i>LD_i</i> = Loss under level down stress scenario</p> <p><i>TU_i</i> = Loss under twist up to down stress scenario</p> <p><i>TD_i</i> = Loss under twist down to up stress scenario</p> <p><i>N⁻¹(x)</i> = Quantile function for the normal distribution</p> <p><i>X_i</i>(ie level) and <i>Y_i</i>(ie twist)</p> $LT_i = \frac{1}{N^{-1}(0.995)} \times \begin{cases} LU_i \times X_i, & \text{if } X_i \geq 0 \\ -LD_i \times X_i, & \text{if } X_i < 0 \end{cases} + \frac{1}{N^{-1}(0.995)} \times \begin{cases} TU_i \times Y_i, & \text{if } Y_i \geq 0 \\ -TD_i \times Y_i, & \text{if } Y_i < 0 \end{cases}$ $= \frac{1}{N^{-1}(0.995)} \times \{LU_i \max(X_i, 0) - LD_i \min(X_i, 0) + TU_i \max(Y_i, 0) - TD_i \min(Y_i, 0)\}$
---	--

(자료: Instructions for the April 2019 Quantitative Data Collection Exercise of the Field Testing Project, p.187)

12) Instructions for the May 2018 Quantitative Data Collection Exercise of the Field Testing Project
Instructions for the April 2019 Quantitative Data Collection Exercise of the Field Testing Project

4. AFNS(Arbitrage-Free Dynamic Nelson-Siegel, 2018년)¹³⁾

IAIS는 2018년 Field Test를 DNS모형으로 진행하였으나 2018.7월 ICS Version 2.0을 발표하면서 AFNS모형을 소개하고 의견수렴을 하였다. DNS모형은 과거 이자율 기간구조를 설명하고 미래 이자율 움직임을 예측하는 순수한 통계적 모형이나 무차익거래(no-arbitrage)에 대한 가정이 반영되어 있지 않다. 이에 AFNS모형이 무위험이자율 시나리오를 산출함에 있어서는 보다 적합할 수 있다는 의견을 제시하였다.

회원국의 의견 수렴과정에서 한국의 감독당국은 통계적으로 보다 정교한 AFNS모형을 지지한바 있다. 그러나 노건엽, 박경국, 박찬원(2019,p28)은 “모수 추정결과 DNS가 AFNS에 비해 로그우도 값이 좀 더 높게 나타났으나 모형간 유의미한 차이는 발생하지 않는 것”을 제시하였고, “AFNS가 모수추정시 제약조건으로 인해 DNS에 비해 모수추정의 안정성은 낮을 것으로 예상”한다고 밝힌 바 있다.

IAIS가 2017년부터 DNS모형을 지속적으로 발전시켜 Field Test를 실시하고 있고 2019년까지 ICS 확정을 목표로 하고 있어 DNS모형이 무위험이자율 시나리오 생성 표준이 될 가능성이 높다고 볼 수 있다. 다만, 여전히 적용 시나리오의 개수에 대해 논란이 있고 모형의 복잡성이 단점으로 제기되고 있어 지속적인 수정 논의가 제기될 것으로 보인다.

13) ICS Version 2.0(2018.7월)

제3장 ICS-PCA 금리리스크 측정 방법

제1절 PCA모형 개요

PCA모형은 상관관계가 높은 설명변수들을 선형 결합하여 새로운 설명변수 (Principal Component, 이하 'PC' 또는 '주성분')를 생성함으로써 설명변수를 축소하는 방법이다. 선형결합을 위한 계수 벡터는 공분산행렬 또는 상관계수행렬의 고유벡터 (Eigen vector, 수식의 'e')가 사용된다.

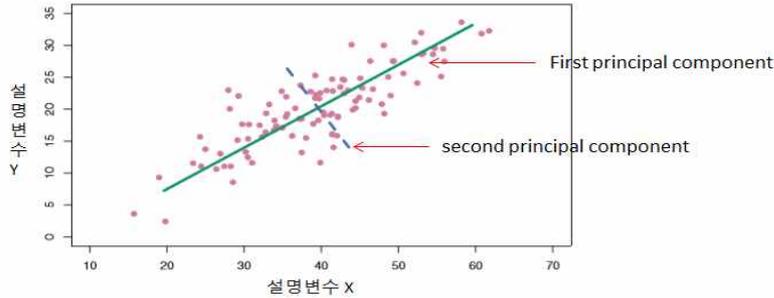
$$PC_1 = e_{11}X_1 + e_{21}X_2 + \dots + e_{p1}X_p \quad (1)$$

식(1)에서 고유벡터인 'e'는 data에 대한 주성분의 설명력을 높이기 위해 식(2)와 같이 주성분의 분산을 극대화하는 값으로 결정된다. 이때 각 설명변수의 평균을 0, 분산을 1로 표준화(standardized)한 경우 식(2)와 같이 각 고유벡터 제곱의 합은 1로 제한된다.

$$\maximize \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^p e_{j1}x_{ij} \right)^2 \right\} \quad \text{subject to} \quad \sum_{j=1}^p e_{j1}^2 = 1 \quad (2)$$

PCA모형을 그림으로 표현하면 [그림 3-1]과 같은데 설명변수 X, Y간에는 상관관계가 높은 선형관계를 보이나 PCA모형을 적용하여 생성한 주성분간에는 상관관계가 제거되어 서로 직교, 즉 독립 관계로 바뀐다.

[그림 3-1] PCA모형의 주성분 개념



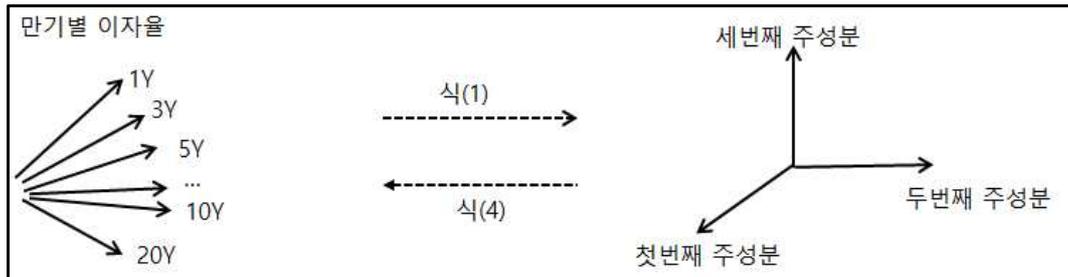
(출처: An Introduction to Statistical Learning with Application in R, p.230)

고유벡터(Eigen vector)를 분해(decomposition)하면 고유값(Eigen value, ‘ λ ’)이 산출되는데 n개의 설명변수는 n개의 고유벡터(e)를 갖게 되고 n개의 고유벡터를 분해하면 n개의 고유값(λ)이 나온다. 이때 표준화된 설명변수들로 산출한 각 고유값은 각 주성분의 분산을 의미하고, 고유값의 합은 표준화된 원래 설명변수들의 분산의 합을 의미한다. 따라서 식(3)과 같이 첫번째 고유값을 고유값의 합으로 나눈 값은 data에 대한 첫번째 주성분의 설명력이 된다. 첫번째 고유값이 가장 크므로 첫번째 주성분의 설명력이 가장 크게 나타나는데 이는 첫번째 주성분이 기존의 설명변수들을 가장 잘 대표한다는 의미이다.

$$k\text{번째 주성분의 설명력} = \frac{\lambda_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n} \quad (3)$$

만기별로 상관관계가 높은 만기별 이자율 data에 PCA모형을 적용하면 식(1)에 따라 만기별 이자율 움직임을 설명할 수 있는 독립적인 주성분을 추출할 수 있는데 이를 직관적으로 표현한 것이 [그림 3-2]이다.

[그림 3-2] 만기별 이자율에서 추출한 독립적인 주성분



(출처: Risk Management : Approaches for Fixed Income Markets, p.97)

추출된 주성분(PC)과 고유벡터를 결합하면 식(4)에 따라 만기별 이자율의 변동(Δr)을 설명할 수 있다. PCA모형으로 이자율 시나리오를 생성한 Frye(1997, p.6)는 첫번째 고유벡터(e_{1t})는 이자율의 수준(level)을, 두번째 고유벡터(e_{2t})는 이자율의 기울기(slope)을, 세번째 고유벡터(e_{3t})는 이자율의 곡률(curvature)로 설명하고 있다.

$$\Delta r_t = e_{1t} \times \Delta PC_1 + e_{2t} \times \Delta PC_2 + e_{3t} \times \Delta PC_3 + \dots \quad (4)$$

이자율 수준(level)은 이자율이 단기부터 장기까지 전체적으로 상승 또는 하락(parallel shift)하는 것과 관련이 있다. 이자율 기울기(slope)는 앞으로 이자율이 상승 또는 하락할 것인지와 관련이 있어 만기별 이자율이 가파르게 되거나 평평하게 되는 것을 의미한다. 세번째 곡률(curvature)은 중기 이자율이 상승(하락)하는 반면 단기와 장기 이자율은 하락(상승)하는 것으로 만기별 이자율이 어떤 곡률을 보이는지와 관련이 있다.

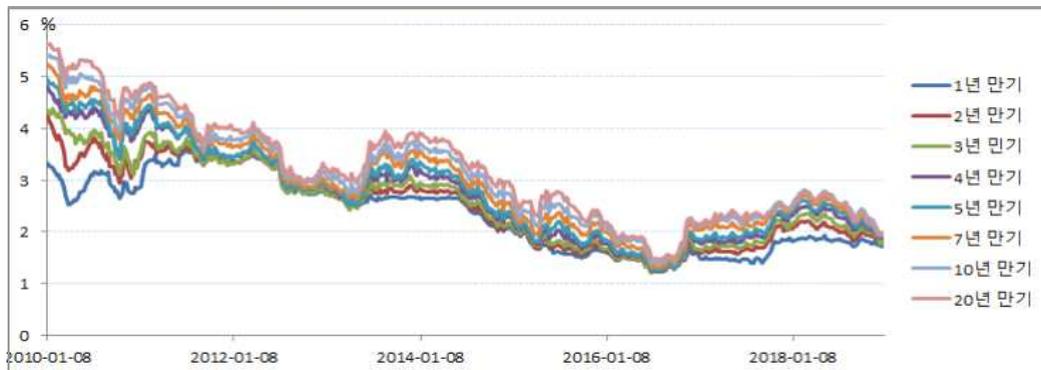
제2절 데이터

본 연구에 사용된 데이터는 2008년 금융위기시 세계 각국이 금리를 조정했던 시기를 제외한 2010년 1월부터 2018년 12월말까지의 주별(매주 금요일) 국채 spot rate¹⁴⁾(이하 ‘무위험이자율’)를 사용하였다. IAIS 회원국들은 위기상황을 포함한 데이터를 기반으로 무위험이자율 시나리오를 산출하는 것이 바람직하다는 의견을 제시하였으나 ICS Field Test에서는 상기 이유로 2010년 이후 데이터를 사용도록 하고 있다. 다만 2016년 Field Test에서 데이터의 기간이 6년으로 너무 짧다는 의견이 많아 이후 Field Test에서는 데이터의 기간을 누적하여 사용하고 있다.

본 연구에 사용된 무위험이자율의 만기는 발행기간이 짧은 만기 30년 국채와 (12년 9월 발행)와 만기 50년 국채(2016년 10월 발행)를 제외한 1년, 2년, 3년, 4년, 5년, 7년, 10년, 20년 만기로 총 8개 만기를 사용하였다.

2010년 1월부터 2018년 12월말까지의 주별 무위험이자율을 나타낸 [그림 3-3]을 보면 2010년 이후 지속적으로 금리가 하락 추세에 있음을 확인할 수 있다.

[그림 3-3] 2010.1월~2018.12월 무위험이자율 추이

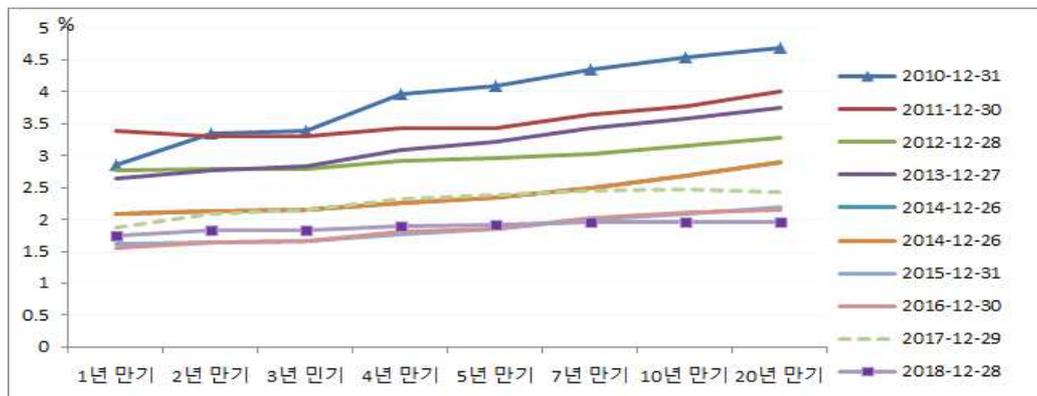


(자료 : 한국자산평가)

14) 만기 T시점에 1을 지급하는 무이표채권의 t시점에서의 가격을 P(t,T)라고 할때 spot rate(현물이자율)은 $-\log(P(t,T))/(T-t)$ 로 구할 수 있다.(노건엽·장봉규 외3인(2018), p.2)

다만 미국 FOMC(Federal Open Market Committee, 연방공개시장위원회)에서 금리를 인상했던 2016년 하반기 이후 잠시 반등하였으나 2017년말 이후 다시 하락추세에 있다. 연도별 만기별 무위험이자율 추세를 나타내는 [그림 3-4]를 보면 보다 하락추세를 보다 명확히 알 수 있다. 2010년 12월말 대비 2018년 12월말 무위험이자율은 모든 만기에서 약 2%내외 하락하였다. 아울러 최근 들어서는 장기 금리가 단기금리와 큰 차이를 보이지 않은 금리 평탄현상도 나타나고 있다.

[그림 3-4] 연도별 만기별 무위험이자율 추이



(자료 : 한국자산평가)

제3절 무위험이자율에 대한 PCA모형 적용 적합성

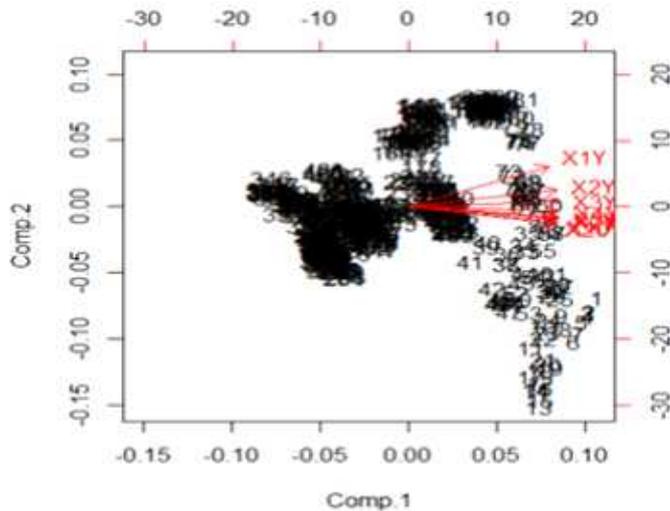
만기별 무위험이자율의 상관계수 행렬을 산출한 결과 <표 3-1>과 같이 모든 만기에서 상관계수가 86%이상으로 상관성이 높게 나타났다. 따라서 PCA모형을 적용하기에 적합한 것으로 판단하였다.

<표 3-1> 만기별 무위험이자율 상관계수

	1년	2년	3년	4년	5년	7년	10년	20년
1년	1.0000							
2년	0.9721	1.0000						
3년	0.9417	0.9919	1.0000					
4년	0.9149	0.9813	0.9945	1.0000				
5년	0.8972	0.9723	0.9897	0.9983	1.0000			
7년	0.8875	0.9656	0.9845	0.9955	0.9982	1.0000		
10년	0.8728	0.9557	0.9782	0.9913	0.9957	0.9983	1.0000	
20년	0.8673	0.9475	0.9697	0.9830	0.9882	0.9928	0.9967	1.0000

[그림 3-5]는 R 프로그램의 PCA함수(princomp)를 적용하여 461개 무위험이자율의 산점도를 그린 biplot이다. princomp함수는 설명변수를 표준화하여 PCA모형을 적용하는 것을 기본으로 한다. [그림 3-5]에 나타난 바와 같이 변수에 해당하는 모든 만기가 같은 방향의 화살표를 갖고 있다. 이는 변수간 상관관계가 높다는 것을 의미하며, 만기별 무위험이자율에 PCA모형을 적용하는 것이 적합함을 나타낸다.

[그림 3-5] 만기별 무위험이자율의 biplot



PCA모형의 주성분별 표준편차, 고유값(표준편차의 제곱) 및 설명력을 산출한 결과는 <표 3-2>와 같다. 다만 주의해야 할 점은 PCA모형을 적용할 때 상관계수 행렬을 사용한 경우와 공분산행렬을 사용한 경우의 고유값, 고유벡터가 다르다는 점이다. ICS에서는 구체적인 산출방법을 명시하고 있지 않지만 Lord와 Pelsser(2006, p.5)는 Lardic, Priaulet.P and S. Priaulet(2003)에 의하면 PCA모형은 무위협이자율 자체보다 무위협이자율 차이에 대해 적용하는 것이 바람직하며, 상관계수 행렬에 적용하여야 한다고 제시하고 있다. 이는 공분산행렬에 PCA모형을 적용할 경우 단기 무위협이자율의 변동에 보다 많은 영향을 받기 때문이라고 설명하고 있다. 따라서 본 연구에서는 상관계수 행렬에 PCA모형을 적용하였다.

<표 3-2>에서 보는 바와 같이 첫번째 주성분(PC1)의 분산이 가장 커 무위협이자율 움직임의 96.99%를 설명하는 것으로 나타났다. 그리고 무위협이자율의 수준(level), 기울기(slope), 곡률(curvature)에 해당하는 첫번째, 두번째, 세번째 주성분이 무위협이자율 움직임의 99.95%를 설명하는 것으로 나타났다.

<표 3-2> 무위협이자율 주성분별 표준편차, 고유값 및 설명력

	표준편차(a)	고유값(b=a ²)	설명력(b/∑b)	누적 설명력
PC1	2.7855	7.7589	0.9699	0.9699
PC2	0.4634	0.2147	0.0268	0.9967
PC3	0.1363	0.0186	0.0023	0.9990
PC4	0.0606	0.0037	0.0005	0.9995
PC5	0.0430	0.0019	0.0002	0.9997
PC6	0.0339	0.0012	0.0001	0.9999
PC7	0.0247	0.0006	0.0001	0.9999
PC8	0.0224	0.0005	0.0001	1.0000

PCA모형의 첫번째, 두번째, 세번째 고유벡터(e)는 <표 3-3>과 같이 산출되었다. 고유벡터는 R프로그램의 factor loading값으로 앞서 설명한 decomposition을 통해 산출할 경우 첫번째 고유벡터 값은 factor loading값과 동일하나 부호가 음수(-)

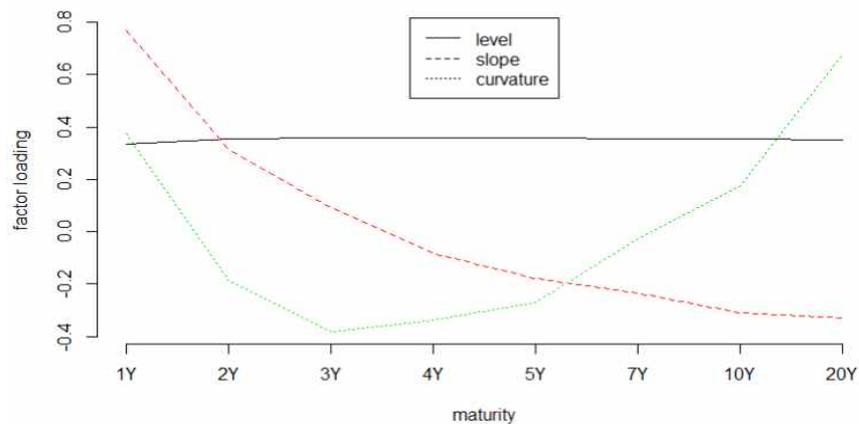
로 나타난다. 그러나 이러한 부호의 차이는 시나리오 산출에 영향을 미치지 않는다.

<표 3-3> 무위험이자율 주성분의 고유벡터

	첫번째 주성분	두번째 주성분	세번째 주성분
1년	0.3348	0.7700	0.3764
2년	0.3547	0.3170	-0.1855
3년	0.3578	0.0924	-0.3814
4년	0.3582	-0.0820	-0.3359
5년	0.3574	-0.1789	-0.2699
7년	0.3566	-0.2360	-0.0254
10년	0.3551	-0.3087	0.1752
20년	0.3531	-0.3291	0.6793

첫번째 주성분의 부호는 만기가 변화해도 부호가 바뀌지 않고 동일하다. 두번째 주성분은 양에서 음으로 부호가 1회 바뀐다. 세번째 주성분의 부호는 처음과 마지막 만기의 부호가 동일하나 가운데 부호가 반대로 나타나 부호가 총 2회 바뀐다. 이를 그래프로 표현하면 [그림 3-6]과 같다.

[그림 3-6] 무위험이자율 주성분의 고유벡터 그래프



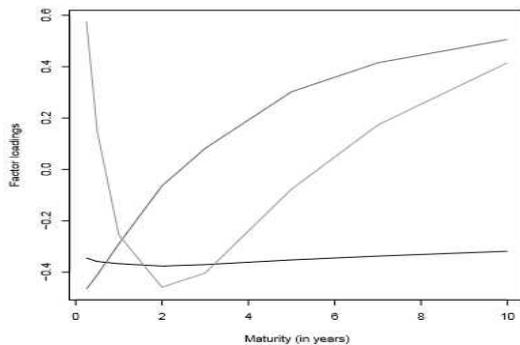
Lord와 Pelsser(2006, p.2)는 Litterman과 Scheinkman(1991)이후 많은 저자들이 앞서 언급한 고유벡터의 부호 변화를 근거로 첫번째 주성분은 무위험이자율 수준(level), 두번째 주성분은 기울기(slope), 세번째 주성분은 곡률(curvature)로 설명한다고 제시한다.

다만 한국 무위험이자율의 기울기(slope)를 살펴보면 [그림 3-7]의 ‘우상향’을 보이는 다른 나라의 경우와 달리 ‘우하향’을 보이고 있다. 기울기의 ‘우상향’ 또는 ‘우하향’은 장기 이자율의 상승폭과 관련된다. 이자율 기간구조(term structure)에 대한 대표적 이론인 유동성선호이론에 의하면 만기가 길수록 이자율 변동 위험이 커지므로 이에 대한 보상으로 프리미엄을 요구하게 된다. 따라서 만기가 길어질수록 이자율은 증가하게 된다.

이자율의 기울기(slope)가 ‘우상향’ 한다는 것은 만기가 길어질수록 이자율의 상승폭이 커진다는 것으로 가파르게 상승한다는 것이다. 반대로 이자율의 기울기(slope)가 ‘우하향’ 한다는 것은 만기가 길어질수록 이자율의 상승폭이 작아진다는 것이다.

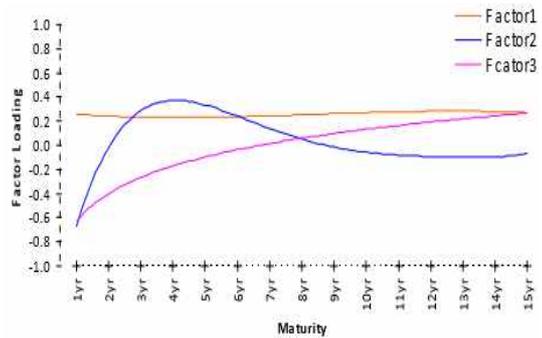
[그림 3-7] 외국 무위험이자율 주성분의 고유벡터

< 1982.1월~2012.12월 미국 국채 >



(출처: Computational Actuarial Science with R, p.436)

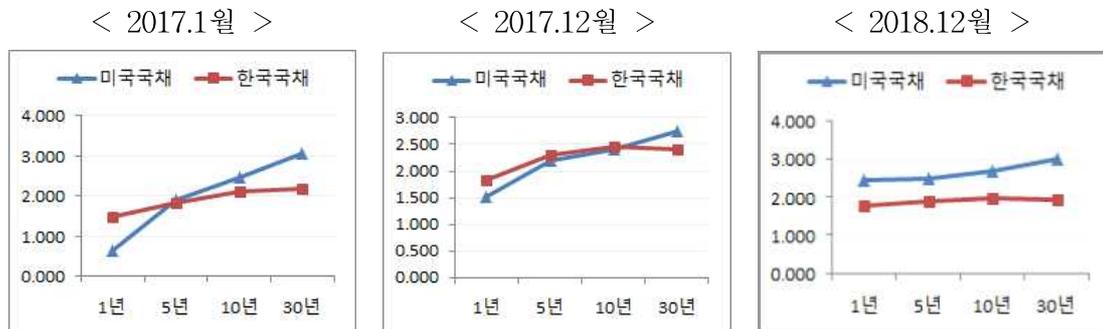
< 2001.1월~2005.12월 인도 국채 >



(출처: 10th Global Conference of Actuaries : Shapes of Yield Curve, p.275)

[그림 3-6]의 한국 무위험이자율의 기울기(slope)는 ‘우하향’하고 [그림 3-7]의 미국 무위험이자율의 기울기가 ‘우상향’한다는 것은 장기로 갈수록 미국 이자율은 가파르게 상승하고 한국 이자율은 완만하게 상승한다는 의미이다. [그림 3-8]은 미국 국채금리와 한국 국채금리를 만기별로 비교한 그래프이다. 미국 국채금리는 장기로 갈수록 가파르게 상승하는 반면 한국은 완만하게 상승하는 것을 확인할 수 있다. 다만 최근 들어 미국 국채금리가 이전보다 완만하게 상승하고 있다.

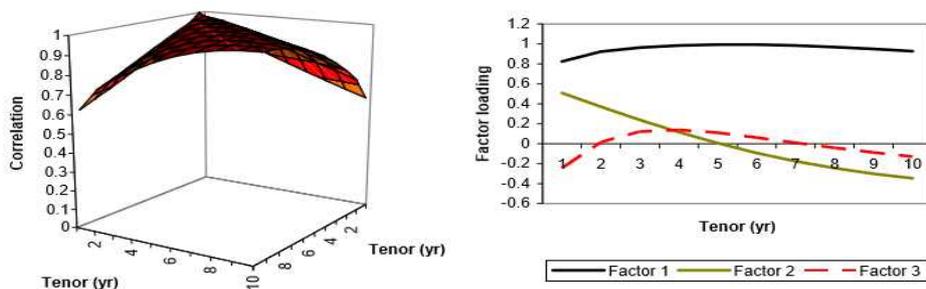
[그림 3-8] 미국과 한국의 국채금리 추이



(출처 : 한국은행 경제통계시스템, 1년 만기에는 미국국채는 금리 6개월 만기 금리를 사용)

참고로 Lord와 Pelsser(2006)가 제시한 유로화 무위험이자율에 대한 PCA모형에서도 [그림 3-9]과 같이 기울기가 ‘우하향’으로 나타나고 있다.

[그림 3-9] 유로 이자율에 대한 상관관계수 및 고유벡터



(출처: Level-slope-curvature: fact or artefact?, p.6)

Lord와 Pelsser(2006)는 고유벡터의 부호변화만으로 이자율의 수준, 기울기, 곡률을 설명하는 것은 부족하다고 판단하여, 상관계수 행렬의 특징을 통해 이를 증명하였다. 만기별로 정리된 이자율의 상관계수 값이 대각선에서 멀어질수록 감소하고 대각선 방향으로 그 값이 증가하는 특징이 있다면 첫번째 주성분의 고유벡터는 수준을, 두번째 주성분의 고유벡터는 기울기를 의미한다고 설명하고 있다. (Lord와 Pelsser(2006, p.21)은 세 가지 특징으로 설명한다.) 이러한 특징을 갖는 상관계수 행렬의 j번째 주성분의 고유벡터는 ‘j-1’개의 부호 변화를 갖기 때문이다.

앞의 <표 3-1>의 한국의 만기별 무위험이자율 상관계수를 살펴보면 Lord와 Pelsser(2006)가 제시한 조건을 충족하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 한국의 만기별 무위험이자율에 대한 PCA모형의 첫번째 주성분은 무위험이자율 수준(level), 두번째 주성분은 기울기(slope)로 보아 무위험이자율 시나리오를 산출하여도 무방한 것으로 판단하였다.

ICS Version.1.0에서는 무위험이자율 시나리오를 생성하기 위해서는 무위험이자율의 차이인 식(5)에 따른 로그 무위험이자율에 PCA모형을 적용하도록 하고 있다.

$$s \sim \ln\left(\frac{1+R_{t+1}^i}{1+R_t^i}\right), (t=1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 20) \quad (5)$$

로그 무위험이자율에 PCA모형을 적용한 결과는 <표 3-4>와 같은데 로그를 취하지 않은 경우의 <표 3-2>와 비교해 보았다. 무위험이자율에 로그를 취한 경우 주성분의 설명력이 로그를 취하지 않은 경우보다 낮았으며, 첫번째와 두번째의 주성분의 설명력이 총 94.5%로 높게 나타났다. 고유벡터는 <표 3-5>와 같이 로그를 취하기 전과 동일한 방향의 부호를 유지하고 있어 무위험이자율의 수준(level), 기울기(slope) 및 곡률(curvature)로 볼 수 있다.

<표 3-4> 로그 무위험이자율 주성분별 설명력

	무위험이자율<표 3-2 참고>			로그무위험이자율		
	고유값	설명력	누적설명력	고유값	설명력	누적설명력
PC1	7.7589	0.9699	0.9699	6.7351	0.8419	0.8419
PC2	0.2147	0.0268	0.9967	0.8253	0.1032	0.9450
PC3	0.0186	0.0023	0.9990	0.2038	0.0255	0.9705
PC4	0.0037	0.0005	0.9995	0.0827	0.0103	0.9808
PC5	0.0019	0.0002	0.9997	0.0663	0.0083	0.9891
PC6	0.0012	0.0001	0.9999	0.0465	0.0058	0.9949
PC7	0.0006	0.0001	0.9999	0.0227	0.0028	0.9978
PC8	0.0005	0.0001	1.0000	0.0178	0.0022	1.0000

<표 3-5> 로그 무위험이자율 고유벡터

	첫번째 주성분	두번째 주성분	세번째 주성분
1년	0.2868	0.6614	0.6166
2년	0.3471	0.3983	-0.2087
3년	0.3622	0.2188	-0.4166
4년	0.3763	-0.0323	-0.3220
5년	0.3747	-0.1076	-0.2410
7년	0.3702	-0.2476	0.0792
10년	0.3586	-0.3516	0.2272
20년	0.3441	-0.3981	0.4279

제4절 무위험이자율 시나리오 생성

ICS Version.1.0의 PCA모형에서는 이자율 수준(level)과 기울기(slope)만을 사용하여 총 4가지의 무위험이자율 시나리오를 생성하도록 하고 있다. 만기별 금리변화율이 정규분포라고 가정하고 신뢰수준 99.5%에서 이자율 수준(level)과 기울기(slope)가 변화했을 때의 충격비율을 데이터의 최종 관찰일 만기별 무위험이자율에 곱하여 시나리오를 산출하는 개념이다. 식(5)에 PCA를 적용하여 이자율 수준과 기울기를 추출하였으므로 금리 충격시나리오는 노건엽·장봉규 외3인(2018, p18)에서

언급한 식(6)과 같이 산출할 수 있다.

$$R_{t+1}^i = (1 + R_t^i) \times shock - 1 \quad (6)$$

충격비율(shock)은 로그 무위험이자율에 대한 비율로 산출되므로 최종 관찰일 만기별 무위험이자율에 곱하기 위해서는 지수함수 형태를 취해야 한다. 그리고 주 성분인 이자율 수준과 기울기의 변화가 무위험이자율의 변화로 바뀌기 위해서는 두 변수간의 상관계수가 필요하다. Johnson and Wichern(2002, p.437)에 의하면 표준화된 변수(무위험이자율)와 주성분간의 상관계수는 식(7)과 같다. 자세한 증명은 Johnson and Wichern(2002)를 참고하기 바란다.

$$\rho_{pe_i, x_j} = \frac{Cov(PC_i, X_j)}{\sqrt{Var(PC_i)}\sqrt{Var(X_j)}} = \frac{\lambda_i e_{ij}}{\sqrt{\lambda_i} \sqrt{1}} = \sqrt{\lambda_i} \cdot e_{ij} \quad (7)$$

따라서 식(7)에 주별 데이터의 무위험이자율의 표준편차를 연 환산하기 위해 루트 52와 정규분포 99.5%의 신뢰계수를 곱해주면 아래 식(8)과 같이 충격비율이 산출된다.

$$shock = \exp(\pm e_{ij} \sqrt{\lambda_j} \times \sqrt{52} \times \sigma_j \times \Phi^{-1}(0.995)) \quad (8)$$

e_{ij} = j번째 주성분의 고유 벡터(eigen vector=loading)
 $\sqrt{\lambda_j}$ = j번째 주성분의 고유값(eigen value, 분산을 의미)
 $\sqrt{52}$ = 주별 data의 연 환산
 σ_j = 만기년 로그이자율의 표준편차
 $\Phi^{-1}(0.995)$ = 신뢰수준 99.5% 신뢰계수

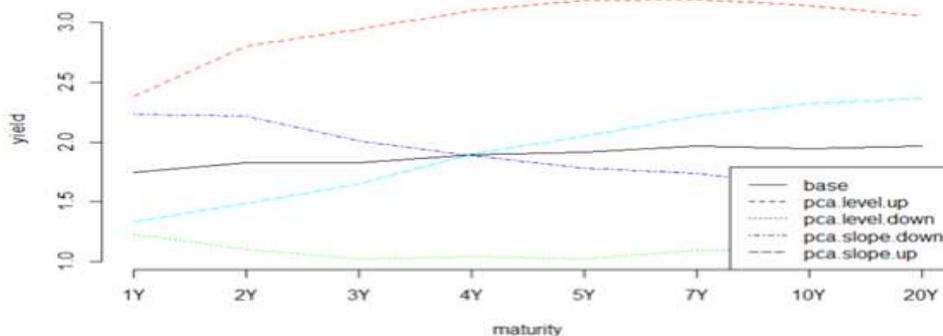
식(8)에 따라 산출한 충격비율(shock)은 아래 <표 3-6>과 같다. 수준상승과 수준 하락은 거의 일정한 비율을 보이고 있어 이를 최종 관찰일 만기별 무위험이자율에 곱할 경우 무위험이자율이 상승 또는 하락하는 방향으로 평행이동(parallel shift)하게 된다. 기울기 하락의 경우는 단기 충격비율은 높고 장기 충격비율은 작아져 시나리오의 무위험이자율 기울기가 평탄(flat)해 진다. 기울기 상승의 경우는 반대로 단기 충격비율은 작고 장기 충격비율은 높아 기울기가 가팔라지게(steep) 된다.

<표 3-6> 시나리오별 충격비율

	수준상승	수준하락	기울기하락	기울기상승
1년	1.2301	0.8129	1.1820	0.8460
2년	1.3489	0.7414	1.1277	0.8867
3년	1.3891	0.7199	1.0719	0.9328
4년	1.4166	0.7059	0.9896	1.0105
5년	1.4359	0.6964	0.9643	1.0370
7년	1.4115	0.7085	0.9225	1.0840
10년	1.4051	0.7112	0.8898	1.1238
20년	1.3684	0.7308	0.8807	1.1354

<표 3-6>의 충격비율을 최종 관찰일인 2018.12.28. 만기별 무위험이자율(base)에 곱하여 산출한 시나리오별 무위험이자율은 [그림 3-10]과 같다.

[그림 3-10] 무위험이자율 시나리오



제4장 RBC제도와 ICS-PCA 금리리스크의 비교 및 분석

이번 장에서는 제2장에서 소개한 RBC제도의 금리리스크 중 만기불일치위험액과 제3장에서 소개한 ICS-PCA 금리리스크를 비교해 보고자 한다. 먼저 금리리스크를 산출하기 위해서는 자산과 부채에 대한 현금흐름이 필요하다. 부채 현금흐름 산출을 위해 생명보험회사의 대표 상품인 사망담보 정기보험 상품을 <표 4-1>과 같이 가정하였다.

<표 4-1> 사망담보 정기보험 가정

계약자 속성	40세 남자
보장 내용	보험기간 동안 사망시 사망보험금 지급
예정 이율	2.5%
예정 위험률	제8회 경험생명표
연납 보험료	587,722원(연초), 납입기간 5년
사망 보험금	1억원(연중), 보험기간 15년

동 상품의 보험료 및 책임준비금은 식(9)에 따라 산출하였다.

$$P^1_{x:\overline{n}|} = \frac{A^1_{x:\overline{n}|}}{a_{x:\overline{n}|}} \qquad {}_kV_x = P_x \cdot \frac{\ddot{a}_{x:\overline{k}|} - A^1_{x:\overline{k}|}}{{}_kE_x} \qquad (9)$$

그리고 자산 현금흐름을 산출하기 위해 정기보험에서 유입되는 매년 초 보험료를 국채에 투자하며 투자수익률은 한국금융투자협회 공시 국채 기준수익률로 가정하였다. 금리리스크의 평가시점은 연초 정기보험을 판매한 후 2년이 경과한 시점, 즉 2회의 보험료를 납입 받아 각각 국채에 투자한 이후 연도 말로 하였으며, 동 시

점을 2018.12월로 가정하였다.

참고로 ICS-PCA에 따라 산출한 무위험이자율 시나리오는 제3장 제4절 식(6)과 같이 't+1'시점부터 만기별로 적용되는 금리이다. 따라서 이론적인 ICS-PCA 금리리스크는 't+1'시점부터 발생하는 현금흐름을 제3장에서 도출한 시나리오별 무위험이자율로 할인하여 't+1'시점의 시나리오별 순자산을 산출하여야 한다. 그리고 이를 't+1'시점의 순자산가액과 비교하여 순자산 변동액을 산출하고 그 순자산 변동액을 다시 't'시점으로 할인하여 't' 평가시점의 금리리스크량을 산출하여야 한다. 원론적인 방법을 사용하기 위해서는 신계약 유입 등 't+1'시점 이후의 현금흐름에 대한 다양한 가정이 필요하다. 이에 ICS에서는 't'시점 이후의 현금흐름을 't+1'시점부터 적용되는 시나리오별 무위험이자율로 할인하여 't' 평가시점의 시나리오별 순자산가액을 산출한다. 그리고 이를 't'시점의 순자산가액과 비교하여 순자산 변동액을 금리리스크량으로 산출하도록 하고 있다. 이에 본 연구에서는 상기 서술된 방법으로 ICS-PCA 금리리스크를 산출하였다.

제1절 금리리스크 산출 결과

매년 초 유입된 보험료를 만기가 5년인 국채에 투자한 경우 금리리스크를 산출한 결과 ICS-PCA 금리리스크는 <표 4-2>와 같이 185,273원으로 <표 4-3>의 RBC제도 만기불일치 위험액 52,766원의 약 3.5배로 나타났다. 이는 정기보험 판매로 부담하게 되는 부채인 RBC제도 책임준비금의 약 19%수준이다. ICS Version 1.0에 따라 ICS-PCA 금리리스크 산출시 두번째 주성분의 순자산 변동액은 기울기 하락(slope-flat)의 경우만 사용하였다.

<표 4-2> ICS-PCA 금리리스크

(단위 : 원)

	2018.12월말	level-up	level-down	slope-flat	slope-steep
순자산 평가액	127,907	339,896	Δ41,058	51,900	210,755
순자산 변동액		211,989	Δ168,965	Δ76,007	82,848
금리 리스크	$\frac{\sqrt{(Risk\ amount\ from\ 1st\ PC)^2 + (Risk\ amount\ from\ 2nd\ PC)^2}}{\sqrt{(168,965)^2 + (76,007)^2}} = 185,273$				

<표 4-3> RBC제도 만기불일치 위험액

(단위 : 원)

채권듀레이션	채권평가액	부채 듀레이션	책임준비금
3.38*	1,185,434	7.6**	990,064
금리 리스크	$ 3.38 \times 1,185,434 - 7.6 \times 990,064 \times 1.5\% = 52,766$		

* 2017년 초 및 2018년 초에 투자한 2개의 5년 만기 채권의 현금흐름을 하나로 보아 산출한 Macaulay duration
 **보험업감독업무시행세칙 별표22 적용

<표 4-2>의 ICS-PCA 금리리스크를 살펴보면 전반적으로 금리가 상승(level-up)하는 경우 보험회사의 순자산이 증가하였으나 전반적인 금리하락(level-down)시에는 순자산이 감소하였다. 그리고 단기금리가 상승하고 장기금리는 하락하는 기울기 하락(slope-flat)의 경우에는 순자산이 감소하였으나 단기금리가 하락하고 장기금리는 상승하는 기울기 상승(slope-steep)의 경우에는 순자산이 증가하였다. 동 결과는 금리변화에 따른 생명보험회사의 일반적인 순자산가치 변동 방향과 일치함을 알 수 있다.

level-down의 경우 순자산 평가액이 음(-)의 수로 나타났는데, 이는 금리하락으로 만기가 긴 부채의 평가액이 만기가 짧은 자산의 평가액보다 크게 증가하여 자본

의 일부를 잠식하고 있는 상황이다. 이는 최근까지 지속되어 온 장기 저 금리 환경에서 보험기간이 장기인 생명보험회사 및 장기 손해보험을 판매한 손해보험회사들의 순자산 가치가 지속적으로 하락해 온 현상과도 일맥상통함을 알 수 있다.

제2절 다양한 만기의 국채에 투자한 경우의 금리리스크

제1절에서는 보험료를 만기가 5년인 국채에 투자한 경우 즉 운용자산의 만기가 보험기간 15년보다 짧은 경우 RBC제도 만기불일치 위험액과 ICS-PCA 금리리스크를 비교해 보았다. 본 절에서는 보험기간에 맞추어 만기가 긴 국채에 투자할 경우 금리리스크가 어떻게 달라지는지 살펴보고자 한다. 만기 5년 국채에 투자한 제1절의 경우 외에 만기 10년, 만기 15년, 만기 20년, 만기 30년 국채에 각각 투자한 경우의 금리리스크는 <표 4-4>와 같다.

<표 4-4> 다양한 만기의 국채에 투자한 경우의 금리리스크

(단위 : 원)

채권 만기	RBC 금리리스크	듀레이션 갭①			ICS-PCA 금리리스크	듀레이션 갭②		
		자산	부채			자산	부채	
5년	52,766	-4.22	3.38	7.6*	185,273	-14.85	3.38	18.23**
10년	25,500	+0.13	7.73		120,500	-10.50	7.73	
15년	96,668	+4.03	11.63		54,895	-6.60	11.63	
20년	155,319	+7.45	15.05		0	-3.18	15.05	
30년	230,180	+12.78	20.38		78,292	+2.15	20.38	

* 보험업감독업무시행세칙 별표22 잔존만기별 부채민감도

**보험금 지급 및 보험료 유입의 현금흐름을 하나의 채권으로 보아 산출한 부채 Macaulay Duration

RBC제도 만기불일치 위험액은 RBC제도상 부채 민감도를 적용하여 산출한 듀레이션 갭①의 절대값이 감소할수록 금리리스크가 감소하고 듀레이션 갭①의 절대

값이 증가할수록 증가함을 알 수 있다. 반면 ICS-PCA 금리리스크는 자산과 부채를 모두 평가시점의 할인율을 적용하여 시가 평가하므로 듀레이션 갭①과는 무관하게 움직이는 것으로 나타났다.

이에 부채에서 발생하는 현금흐름인 보험금 지급 및 보험료 유입을 기초로 식 (10)에 따라 부채 Macaulay Duration을 18.23으로 산출하였다. 다만 일반적인 Macaulay Duration에서는 만기동안 이자율이 일정(flat)하다고 가정하나 본 연구에서는 평가시점의 만기별 이자율을 적용하여 현금흐름을 산출하였다.

$$Macaulay - Duration = \sum_{i=1}^n \frac{t \times PVCF}{TPVCF} \quad (10)$$

PVCF : 현금흐름의 t시점의 현재가치

TPVCF : PVCF의 총 합

t : 현금흐름 발생시점

이자율 변동에 따른 채권가치 변동인 민감도를 측정하기 위해서는 가중평균 만기 개념의 Macaulay Duration보다 Effective Duration이 적합하나 본 연구에서는 부채 현금흐름이 이자율 변화와 무관하다고 가정하고 있어 Macaulay Duration을 사용하였다. EIOPA(2016, p.59)에 의하면 현금흐름이 이자율 변화에 영향을 받지 않는다면 Macaulay Duration과 Effective Duration이 유사하다고 언급하고 있기 때문이다. 또한 무위험이자율 시나리오별 Effective Duration은 식(11)과 같이 근사할 수 있는데 만기별 무위험이자율 시나리오의 이자율 변동액(Δr) 산출방법이 다양하고 이자율 변동액(Δr)이 Effective Duration에 미치는 영향이 크기 때문이다.

$$Effective - Duration \approx \frac{PV_- - PV_+}{2PV_0(\Delta r)} \quad (11)$$

PV₋ : 이자율이 Δr 만큼 하락할 경우 기대 현금흐름의 현재가치

PV₊ : 이자율이 Δr 만큼 상승할 경우 기대 현금흐름의 현재가치

PV₀ : 시작시점의 기대 현금흐름의 현재가치

Tsai(2009)는 식(11)에서 부채의 개별적인 현금흐름 대신 부채의 평균 적립금 (mean reserve)을 사용하고 만기별 이자율 기간구조(term structure)를 반영하기 위해 VAR(cointegrated vector autoregression)모형으로 산출한 평균이자율(average interest rate)의 변동을 대입하여 Effective Duration을 산출한다. EIOPA(2016, p.59)에서는 stress test에 사용한 무위험이자율 시나리오의 Effective Duration을 내부수익률(IRR)을 사용하여 식(12)와 같이 근사할 수 있다고 제시하고 있다.

$$Effective - Duration \approx -\frac{\Delta PV}{\Delta IRR} \cdot \frac{1}{PV^{base}} = -\frac{PV^{base} - PV^{scenario}}{PV^{base}} \cdot \frac{1}{IRR^{base} - IRR^{scenario}} \quad (12)$$

보험회사 전체 부채 듀레이션을 산출할 경우에는 Tsai(2009)가 사용한 부채의 평균 적립금을 사용하는 것이 용이할 것으로 생각되며, 무위험이자율 시나리오 산출 모형별로 차이를 두지 않는다면 EIOPA(2016)에서 제시한 내부 수익률을 사용하는 방법도 고려할 필요가 있다. EIOPA(2016)에 의해 산출한 부채 Effective Duration은 level-down시나리오에서 18.88, level-up시나리오에서 16.54로 나타났다.

부채 Macaulay Duration으로 산출한 듀레이션 갭②와 ICS-PCA 금리리스크를 살펴보면 듀레이션 갭②의 절대값이 '0'에 가까워짐에 따라 금리리스크가 감소함을 알 수 있다. 다만 ICS-PCA 금리리스크는 자산과 부채를 시가 평가하여 순자산 변동액을 리스크로 산출하므로 채권의 불록성 성질이 일부 반영된다. 따라서 듀레이션 갭②에 따라 금리리스크가 비례하지는 않는데 이에 대하여는 '2. ICS-PCA 금리리스크'에서 보다 자세히 알아보고자 한다.

1. RBC제도 만기불일치 위험액

먼저 <표 4-5>의 RBC제도 만기불일치 위험액을 자세히 살펴보면 만기 5년 국채에 투자한 경우와 만기 15년 국채에 투자한 경우 듀레이션 갭①은 비슷하나 RBC제도 만기불일치 위험액은 다르게 나타났다. 이는 RBC제도 만기불일치 위험액은 듀레이션 갭①과 자산 평가액은 고려하나 부채 평가액에 대해서는 반영하지 않기 때문이다. 따라서 동일한 듀레이션 갭①을 갖더라도 자산 평가액이 커지면 금리리스크량도 증가한다. <표 4-5>를 보면 평가시점인 2018.12월 만기 5년 국채의 평가액은 1,185,434원인 반면 만기 15년 국채의 평가액은 1,201,122원이기 때문에 만기 15년 국채에 투자한 경우 RBC제도 만기불일치 위험액이 더 크게 나타난다.

RBC 제도하에서는 금리리스크가 RBC제도상의 듀레이션 갭①의 절대값에 비례하므로 듀레이션 갭①을 축소하는 것이 중요한 리스크관리 방법이었다. 그러나 RBC제도의 부채 민감도는 보험부채를 시가평가하지 않고 예정이율을 적용할 뿐만 아니라 만기를 최대 30년으로 제한하고 있어 실제 금리리스크량을 과소 평가하는 한계가 있다.

<표 4-5> 듀레이션 변화에 따른 RBC 금리리스크

(단위 : 원)

채권만기	듀레이션 갭①	RBC금리리스크	자산평가액	부채적립금
5년	-4.22	52,766	1,185,434	990,064
10년	+0.13	25,500	1,193,340	
15년	+4.03	96,668	1,201,122	
20년	+7.45	155,319	1,187,978	
30년	+12.78	230,180	1,122,169	

2. ICS-PCA 금리리스크

아래 <표 4-6>은 ICS-PCA 금리리스크 산출과정을 자세히 표현하고 있다. 앞서 설명한 바와 같이 ICS-PCA 금리리스크는 자산과 부채를 모두 시가 평가하여 리스크량을 산출하므로 부채의 모든 현금흐름을 반영한 부채 듀레이션(18.23)을 기초로 한 듀레이션 갭②와 ICS-PCA 금리리스크를 비교하였다.

<표 4-6> 듀레이션 변화에 따른 ICS-PCA 금리리스크

(단위 : 원)

채권 만기	듀레이션 갭②	ICS-PCA 금리리스크	순자산 평가액	level-up (변동액*)	level-down (변동액)	slope-flat (변동액)	slope-steep (변동액)
5년	-14.85	185,273	127,907	339,896 (211,989)	-41,058 (-168,965)	51,902 (-76,007)	210,755 (82,848)
10년	-10.50	120,500	135,813	270,310 (134,497)	23,705 (-112,107)	91,629 (-44,183)	184,253 (48,440)
15년	-6.60	54,895	143,595	205,169 (61,574)	90,243 (-53,351)	130,667 (-12,928)	157,007 (13,412)
20년	-3.18	0	130,451	132,177 (1,726)	131,157 (706)	142,620 (12,169)	117,159 (-13,292)
30년	+2.15	50,237	64,642	14,405 (-50,237)	131,499 (66,857)	105,382 (40,740)	23,974 (-40,668)

*수준상승 등의 시나리오별 순자산 평가액- 평가시점의 순자산 평가액

ICS-PCA 금리리스크는 듀레이션 갭②의 절대값이 '0'에 가까워질수록 감소한다. 그러나 만기 20년 국채에 투자한 경우 듀레이션 갭②의 절대값이 만기 30년에 투자한 경우보다 큼에도 불구하고 금리리스크는 더 작게 나타났다. 이는 level-up시나리오와 level-down시나리오가 순자산가액의 변화에 미치는 영향이 다르기 때문이다. <표 4-7>은 만기 20년 국채와 만기 30년 국채에 투자한 경우 첫번째 주성분의 시나리오에 따른 순자산 변동액을 부채 변동액과 비교하고 있다. level-up의 경우 듀

레이션(15.05 < 18.23 < 20.38)과 평가액의 하락비율(21.4% < 24.2% < 27.3%)을 비교해 보면 하락비율 간격이 2.8%p, 3.1%p로 크게 차이나지 않음을 알 수 있다. 반면 level-down시 평가액을 듀레이션과 상승비율(17.1% < 19.1% < 23.9%)을 비교하면 상승비율 간격이 2.0%p, 4.8%p로 크게 벌어짐을 확인할 수 있다. 일반적인 채권 평가액은 평가액을 상승시켜 주는 양의 볼록성 효과로 인해 금리상승시 평가액 하락폭은 둔화되지만 금리하락시에는 평가액 상승폭이 확대된다.

<표 4-7> 만기 20년과 30년 국채 투자시 첫번째 주성분 시나리오

(단위 : 원)

	level-up 평가액		18.12월말 평가액	level-down 평가액	
		변동액(비율)			변동액(비율)
채권20년 (15.05)	933,484	(-254,494, -21.4%)	1,187,978	1,390,577	(+202,599, +17.1%)
부채15년 (18.23)	801,307	(-256,220, -24.2%)	1,057,527	1,257,420	(+201,893, +19.1%)
채권30년 (20.38)	815,712	(-306,457, -27.3%)	1,122,169	1,390,919	(+268,750, +23.9%)

만기 30년 국채에 투자하여 양의 듀레이션 갭②(+2.15)인 상황에서 level-up일때 듀레이션이 긴 자산의 평가액 하락폭이 부채보다 커 순자산 감소가 발생하였다. ICS-PCA 금리리스크가 듀레이션 갭②에 비례한다면 만기 20년 국채에 투자하여 음의 듀레이션 갭②(-3.18)을 갖는 상황에서 level-down이 발생하면 만기 30년 국채에 투자한 경우의 반대이므로 순자산 감소가 발생해야 한다. 그러나 level-down시 듀레이션에 의한 평가액보다 볼록성 영향으로 더 증가하고 자산 평가 규모가 부채 평가 규모를 상회하므로 순자산 감소가 발생하지 않음을 알 수 있다.

따라서 식(13)과 같이 자산과 부채 규모를 고려하여 자산과 부채의 민감도(Effective Duration)을 일치시킬 경우 ICS-PCA 금리리스크는 상당부분 낮출 수 있으나 일부 볼록성 영향에 의한 리스크는 여전히 존재한다.

$$D_A = D_L \times \frac{L}{A} \quad \begin{array}{ll} D_A = \text{자산 듀레이션} & L = \text{자산 익스포저} \\ D_L = \text{부채 듀레이션} & A = \text{부채 익스포저} \end{array} \quad (13)$$

다만 채권의 듀레이션이나 볼록성은 다양한 무위험이자율로 현금흐름을 할인하여 산출한 평균 현재가치 개념을 기초로 한다. ICS에서는 3개의 무위험이자율 시나리오만으로 현재가치를 산출하기 때문에 이론적인 ‘볼록성’과는 차이가 있으나 유사한 개념으로 듀레이션과 볼록성을 적용하여 설명하였다.

ICS-PCA 금리리스크는 대부분 첫번째 주성분을 이용한 시나리오에서 발생하였고, 만기가 긴 20년과 30년 국채에 투자한 경우에는 두번째 주성분 시나리오에서도 금리리스크가 발생하였다. 특히 만기가 20년인 국채에 투자한 경우에는 기울기가 상승하는 시나리오에서만 순자산이 감소하여 금리리스크가 ‘0’으로 나타났다. 이는 현재까지 ICS-PCA 금리리스크 산출시 기울기가 상승하는 시나리오의 순자산 감소는 고려하지 않기 때문이다. 최근 IAIS는 두번째 주성분을 시나리오 산출에 사용한다면 기울기 상승의 경우도 금리리스크량 산출에 포함하여야 한다고 의견을 제시한 바 있다.

또한 RBC제도에서 듀레이션 갭①이 비슷했던 만기 5년 국채에 투자한 경우와 만기 15년 국채에 투자한 경우를 살펴보면 ICS-PCA 금리리스크가 RBC제도 만기 불일치 위험액과 다른 양상을 보인다. 만기 15년 국채에 투자한 경우의 금리리스크가 더 작게 나타난다. <표 4-8>에서 보는 바와 같이 국채 5년에 투자한 경우 level-down시 듀레이션이 긴 부채 평가액 증가가 자산 평가액 증가보다 크므로 금리리스크가 크게 나타난다. 국채 15년에 투자한 경우에는 국채 5년보다 자산 평가액 증가가 증가하여 금리리스크가 더 작게 나타난다.

<표 4-8> level-down시 만기 5년과 만기 15년 국채의 가치 변동액

(단위 : 원)

듀레이션 갭②	자산			부채		
	평가지점 (a)	수준하락 (b)	변동액 (b-a)	평가지점 (c)	수준하락 (d)	변동액 (d-c)
-14.85(국채5년)	1,185,434	1,218,362	32,928	1,057,527	1,259,420	201,893
-6.60(국채15년)	1,201,122	1,349,663	148,541			

앞의 <표 4-6>을 살펴보면 보험회사의 가용자본이라고 볼 수 있는 순자산 평가액은 만기 15년 국채에 투자한 경우 가장 큰 것으로 나타났으며, 만기 20년 이상인 국채에 투자한 경우에는 리스크량은 작으나 순자산 평가액은 도리어 감소하였다. 동 상황에서 보험회사가 금리리스크 관리를 위해 어떻게 자산을 운용해야 하는지의사결정 판단기준이 필요한데 판단기준의 하나로 지급여력비율을 생각해 볼 수 있다. 지급여력비율은 가용자본인 순자산 평가액과 요구자본인 금리리스크를 기초로 산출하기 때문에 지급여력비율이 높은 방안이 보다 바람직한 리스크관리 방안이라고 할 수 있다.

<표 4-9>에서는 단순한 가정을 통해 지급여력비율을 간략히 비교하고 있다. 가용자본의 기초가 되는 순자산은 IFRS17을 적용한 이후의 재무상태표의 자본과 新 지급여력제도의 자산·부채 시가평가에 따라 발생한 평가차액으로 구성된다. 그리고 부채평가 할인율은 국채에서 산출한 무위험이자율에 변동성 조정이 가산된 조정 무위험 이자율을 적용하므로 본 논문의 할인율을 그대로 적용할 수 없다. 그러나 가용자본의 상대적 크기를 간략히 비교하기 위하여 순자산 평가액을 가용자본으로 가정하였다. 또한 금리리스크를 제외한 리스크는 모두 동일한 금액이라고 가정하였다. 이 경우 만기 20년 국채에 투자한 경우가 지급여력비율이 가장 높은 것으로 나타났다. 다만 두번째 주성분을 활용한 시나리오에서 발생한 리스크량도 포함할 경우 지급여력비율은 다소 낮아지나 지급여력비율이 가장 높게 나타나는 것은 만기 20년

국채에 투자한 경우로 나타났다.

<표 4-9> ICS-PCA 금리리스크와 지급여력 비율

(단위 : 원, %)

채권 만기	가용자본 (A)	금리리스크 (B)	기타리스크 (C)	지급여력비율 {A/(B+C)}
15년	143,595	54,895	100,000	92.7
20년	130,451	0	100,000	130.4
30년	64,642	50,237	100,000	43.0

아울러 PCA모형을 이용한 금리리스크는 주로 첫번째 주성분을 이용한 시나리오 중 level-down의 경우와 두번째 주성분을 이용한 시나리오 중 slope-flat(만기가 긴 경우 slope-steep)의 경우에 발생하였다. 제3장에서 설명한 바와 같이 PCA모형의 주성분은 서로 독립이므로 이론적으로 이자율 수준하락과 기울기하락 시나리오는 동시에 발생할 수 없다. 따라서 첫번째와 두번째 주성분을 모두 고려하여 금리리스크량을 산출하는 것은 리스크량을 중복하여 산출하는 것과 같다고 볼 수 있다.

또한 첫번째 주성분이 무위험이자율 움직임의 84.1%를 설명하고 있어 설명력이 낮은 두번째 주성분을 고려하는 것은 리스크측정 방법의 복잡성만을 증가시킨다고 볼 수도 있다. ICS에 대한 의견수렴 과정에서도 상당수 IAIS회원이 첫번째 주성분만을 활용하는 것이 표준화된 리스크측정 방법론으로 적합하다는 의견을 제시한 바 있다.¹⁵⁾ 그러나 현재까지 IAIS는 기울기 하락시 순자산 변동액이 큰 경우가 있어 두번째 주성분을 배제하는 것에 대해 부정적인 입장이다.

IAIS의견 수렴 과정에서 일부 회원은 4개의 시나리오를 모두 사용한다면 각 시나리오 중 순자산 변동액이 가장 큰 값으로 금리리스크량을 산출하자는 의견을 제시한 바 있다. 보다 적절한 금리리스크 산출식을 위해 최근 금리리스크 측정방법을

15) Comment 2016 ICS Consultation Document, Comment ICS Version 2.0

개선하고 있는 은행의 경우를 참고할 필요가 있다. BCBS(Basel Committee on Banking Supervision)는 2016년 은행의 새로운 금리리스크 평가기준서(Standards : Interest risk in the banking book, 2016.4.)를 발표하고 2018년부터 적용할 것을 권고하였다. 동 기준서에서는 순자산가치 변동액 산출시 앞서 언급한 총 4개의 충격 시나리오외에 단기 금리충격 증가, 단기 금리충격 감소 등 총 6개의 시나리오를 적용하도록 하고 있다. 이때 순자산가치 변동과 관련된 리스크는 6개 시나리오 중 가치하락이 가장 큰 값으로 정하고 있다. 최대 순자산가치 하락액을 리스크량으로 산출하는 것은 리스크량을 중복 계산하는 단점을 보완할 수 있고 장기 보험계약 또는 투자계약에서 발생하는 리스크도 포착가능하다. 또한 보험계약 또는 투자 자산 그룹(단기상품, 장기상품)별로 적용되는 시나리오가 일관되므로 리스크관리 방안을 수립하기에 보다 양호한 방법이라고 할 수 있다.

다만 개념적으로 리스크량은 일정기간 동안 주어진 신뢰수준하에서 발생할 수 있는 최대 손실 예상액에서 평균 손실 예상액을 차감한 금액으로 정의한다. 그러나 ICS 금리리스크는 99.5%의 신뢰수준에서 향후 1년 동안 예상되는 최대 손실액을 99.5%의 신뢰계수가 곱해진 3개의 무위험이자율 시나리오만으로 산출하고 있다. 무작위(random) 현금흐름의 기댓값을 기초로 최대 손실 예상액을 산출하지 않기 때문에 금리충격 시나리오에 의한 현재가치가 99.5%신뢰수준의 최대 손실액을 대표한다고 단정하기 곤란하다. 따라서 ICS-PCA 방법에 의한 최대 순자산가치 하락액이 99.5% 신뢰수준하에서 보험회사의 실제 금리리스크량을 정확히 반영하지 못하는 한계가 있다.

보험회사는 정교한 방법으로 금리리스크를 측정하는 것도 중요하지만 다양한 방법을 통해 금리리스크를 축소하는 것 역시 중요하다. 만약 너무 복잡한 모형으로 금리리스크를 측정할 경우 보험회사가 리스크 산출경로를 명확히 이해하기 어려워 리스크를 축소하기 위한 방안을 제대로 수립하지 못할 수 있다. 그리고 리스크를 축소하기 위한 보험회사의 노력이 리스크량에 상대적으로 덜 반영될 수 있으므로 리스크측정 방법의 단순화에 대한 고민도 필요할 것으로 보인다.

제5장 요약 및 결론

제1절 연구의 결과

현행 RBC제도의 만기불일치 위험액과 ICS-PCA 금리리스크를 다양한 듀레이션 갭 상황하에서 비교·분석하였다. 현재 대부분의 생명보험회사는 자산보다 부채 만기가 더 긴 상황에 직면하고 있는데 이 경우 ICS-PCA 금리리스크는 현행보다 매우 큰 것으로 나타났다. ICS-PCA 금리리스크를 축소하기 위해서는 부채의 모든 현금흐름을 시가 평가하여 산출한 부채 민감도를 산출하고 자산 민감도와 차이(듀레이션 갭 ②)를 축소할 필요가 있다. 그 방법으로는 자산과 부채의 현금흐름을 매칭시켜 현금흐름이 서로 상쇄되도록 하거나 자산 민감도를 부채 민감도에 일치하도록 만기가 긴 자산운용에 대한 투자를 확대하는 것 등이 있다.

또한 현재 ICS-PCA 금리리스크 측정방법은 동시에 발생하지 않는 두번째 주성분의 시나리오를 포함하여 리스크를 과대 산출하는 문제가 있다. 그리고 만기가 긴 보험계약이나 채권은 두번째 주성분에 의한 리스크가 크므로 최대 순자산가치 하락액을 금리리스크량으로 측정하는 방안이 리스크 산출방법을 단순화하면서 관리방안 수립에도 보다 용이한 방안으로 생각된다.

금융감독당국은 보험회사가 예상치 못한 손실에 대비하여 리스크량을 측정하고 이에 상응하는 자본을 보유하도록 하고 있다. 과도하게 과대평가된 리스크량은 보험회사에 불필요한 자본을 요구함으로써 보험회사의 효율적인 자산운용 등을 제약한다. 반대로 과소평가된 리스크는 금융위기시 보험계약자를 보호할 수 없으므로 보험회사는 적정수준의 요구자본을 보유하여야 한다. 따라서 ICS에 의한 금리리스크량이 보험회사의 실제 리스크량을 적정하게 반영하고 있는지에 대한 지속적인 검토가 필요하다.

제2절 연구의 의의

K-ICS 2.0에서는 DNS모형을 이용한 금리리스크 측정방법을 제시하였고 ICS는 DNS모형을 이용하여 금리리스크를 측정하는 Field Test를 진행하였다. 그리고 이론적으로 보다 우수한 AFNS모형에 대한 논의도 진행 중에 있다. 본 연구는 Solvency II에서 활용하고 있고 ICS가 2016년에 제시한 PCA모형을 이용하여 금리리스크를 측정하였다. 이는 향후 보험회사들이 제도적으로 규정화된 리스크측정 모형 외에 해당 보험회사에 적합한 내부모형을 운영할 경우 각 모형에 대한 연구가 필요하기 때문이다. 보험회사는 제도적으로 요구되는 자본 수준을 넘어 위기상황 발생시에도 필요한 자본을 충분히 보유하고 있는지 리스크를 점검할 필요가 있다. 이러한 측면에서 본 연구는 향후 보험회사들이 다양한 금리리스크 측정 모델을 검토할 경우 도움이 될 것으로 기대한다.

제3절 개선 방향

본 연구는 사망담보 정기보험을 보험부채로 가정하여 분석을 진행하였다. 보험부채의 중요 현금흐름인 보험금 지급 및 보험료 수취만을 고려하였고 보험료 유입도 일정하다고 가정하였다. 그러나 보험상품 판매 및 유지를 위해서는 신계약비, 유지비 등이 발생하고 금리수준, 경과기간 등에 따라 보험계약의 해지가 발생할 수 있다. IFRS17에서도 보험부채의 공정가치 평가시 이러한 요소를 현금흐름에 반영하여 평가하도록 하고 있다. 그러나 본 연구에서는 보험부채의 현금흐름을 정밀하게 산출하지 못하고 금리리스크를 측정할 한계가 있다. 향후 현금흐름을 기초로 한 보험부채 시가 평가 모형을 고려하여 금리리스크를 측정한다면 보험회사의 리스크관리에 보다 많은 도움이 될 것으로 생각한다.

또한 K-ICS의 금리리스크 논의 및 보험회사의 내부모형 채택 등을 위해서는 PCA

모형 뿐만 아니라 ICS Version 2.0에서 제시한 DNS모형 및 AFNS모형의 금리리스크와도 비교 분석이 필요하다. 앞으로 이론적인 모형의 차이 외에 다양한 상품과 재무상황에 따른 금리리스크의 차이에 대한 분석이 이루어져야 할 것으로 보인다. 아울러 각 모형에 의한 리스크량이 보험회사의 실제 금리리스크량을 적정히 반영하고 있는지에 대한 검토와 연구도 필요하다.

참고문헌

- 노건엽, “주성분분석을 이용한 보험사 금리리스크 측정”, 계리학연구 제10권 제2호, 한국계리학회 (2018) : 3-36
- 노건엽·장봉규·태현욱·김병준·박경국, “DNS 모형을 통한 금리 충격 시나리오 산출 및 분석”, 2018 한국경영과학회 추계학술대회 논문집(2018), 연세대학교 : 523-545
- 노건엽·박경국·박찬원, “신지급여력제도(K-ICS)에서의 금리리스크 측정에 관한 연구”, 리스크관리연구 제30권 제1호, 한국리스크관리학회(2019) : 59-89
- 안준용·이항석·주효찬, “금리수준별 금리변동성과 위험기준 자기자본제도”, 한국데이터정보학회지 제25권 제6호, 한국데이터정보과학회 (2014) : 1507-1520
- 금융감독원, “보험회사 위험기준 자기자본(RBC) 해설서”, 2017.1.
- 금융감독원, “新 지급여력제도 도입초안(K-ICS 1.0)”, 2018.4.
- 금융감독원, “新 지급여력제도 도입수정안(K-ICS 2.0)”, 2019.7.
- 금융위·금감원 보도자료, “「보험 자본건전성 선진화 추진단」 구성 및 제1차 회의 개최”, 2018.11.
- Jon Frye, “Principals of Risks: Finding Value-at Risk Through Factor-Based Interest Rate Scenarios”, 1997
- Roger Lord and Antoon Pelsser, “Level-slope-curvature: fact or artefact?”, Applied Mathematical Finance Vol 14(2) (2007) : 105-130.
- Tsai, Chenghsien “The term structure of reserve durations and the duration of aggregate reserve”, The Journal of Risk and Insurance Vol.76(2) (2009) : 419-441
- Bennett W. Golub and Leo M. Tilman, Risk Management : Approaches for Fixed Income Markets, Wiley: New York, 2000.

Johnson, R.A. and Wichern.D.W., Applied Multivaried Statistical Analysis(6th,ed),
Prentice Hall, New Jersey(2002)

Gareth James, Daniela Witten, Trevor Hastie, and Robert Tibshirani, An Introduction
to Statistical Learning with Applications in R, Springer: New York, 2013.

EIOPA, 2016 EIOPA Insurance Stress Test Report, 2016

IAIS, Instructions for the April 2015 Quantitative Data Collection Exercise, 2015

IAIS, IAIS Responses to 2014 ICS Consultation Comments–Section 9.2.3(Market
Risks), 2016

IAIS, Risk-based Global Insurance Standard Version 1.0, 2016

IAIS, Risk-based Global Insurance Standard Version 1.0 Public Consultation
Document, 2016

IAIS, Instructions for the May 2016 Quantitative Data Collection Exercise, 2016

IAIS, Risk-based Global Insurance Standard Version 1.0 for Extended Field
Testing, 2017

IAIS, ICS Version 1.0 for Extended Field Testing, 2017, 2018

IAIS, Risk-based Global Insurance Standard Version 2.0 Public Consultation
Document, 2018

IAIS, IAIS Base Curve Methodology for ICS Version 2.0, 2018

IAIS, Instructions for the April 2019 Quantitative Data Collection Exercise of the
Field Testing Project, 2019

Subhash Chandra, “Shapes of Yield Curve: Principal Componet Analysis & Vector
Auto Regressive approach”, 10th Global Conference of Actuaries : 270–285

ABSTRACT

Interest risk measurement and analysis using Principal Component Analysis Model

Hyeon, Eun Ha

Department of Actuarial Science

Sungkyunkwan University

As with IFRS 17 introducing in 2022, a new frame for Korean Insurance Capital Standard(K-ICS) will be set out. The Risk Based Capital(RBC), current capital requirement system that employed the coefficient, needs to be changed into the shock scenario method. Although of various methodologies of measuring interest risk, up to now interest risk has the greatest influence on the ratio of solvency to insurer. Therefore not only insurers but also many financial supervisory institutes pay attention to way of managing interest risk and managing that.

To this end, this study calculated interest risk using Principal Component Analysis method suggested by ICS(ICS-PCA) and undertook a detail analysis comparing with interest risk of RBC. In the state of negative duration gap, the interest risk using ICS-PCA is larger than that of RBC. Insurers must effort to estimate liability duration more delicately and matching asset duration up liability duration in order to minimize interest risk. Drawing on analysis, ICS-PCA also has limits to measure true interest risk of insurers. Therefore we continue to review various alternative methodologies and try to improve drawbacks of ICS-PAC.