การประมาณค่าความน่าจะเป็นการผิดนัดชำระหนี้และมูลค่าความสูญเสียการผิดนัดชำระหนี้ ของตราสารหนี้ไทย

(Estimating Probability of Default and Loss Given Default for Thai Fixed Income Securities)

ฝ่ายบริการราคาและพัฒนาผลิตภัณฑ์

สมาคมตลาดตราสารหนี้ไทย

ธันวาคม 2562

สารบัญ

1. วัตถุประสงค์ในการศึกษา 3

2. การกันสำรองการลงทุนในตราสารหนี้ตามมาตรฐานบัญชี TFRS 9 (TFRS 9 Impairment) 3

3. การคำนวณ Expected Credit Loss 5

4. วิธีการคำนวณความน่าจะเป็นในการผิดนัดชำระหนี้ของตราสารหนี้ (Probability of Default : PD) 7

4.1 PD ของพันธบัตรรัฐบาลไทย 7

4.2 PD ของหุ้นกู้เอกชน 7

4.2.1 Bayesian Probability 8

4.2.2 Constrained Optimization 10

4.2.3 Generator Matrix 10

4.2.4 การพิจารณาผลกระทบของ macroeconomic forecast ในค่า probability of default 11

4.2.5 Ordinary Least Square for Quantifying Economic Relationship between NPL and GDP 12

4.2.6 Economic Adjustment Coefficient Estimation 13

4.2.7 Probability-weighted scenarios 14

4.2.8 Chapman-Kolmogorov Equation for n-step Transition Probabilities 16

4.2.9 Approximation of Probability of Default into Fine Rating 17

4.2.10 Approximation of Probability of Default into Tiny Years 17

4.3. ผลลัพธ์การประมาณค่า Probability of Default for Thai Corporate Bonds 17

4.4 ข้อจำกัดในการใช้งาน Probability of Default 21

5. วิธีการประมาณค่าความสูญเสียของการผิดนัดชำระหนี้ (Loss Given Default) 22

5.1 LGD ของพันธบัตรรัฐบาลไทย (LGD for Sovereign Debt) 22

5.2 LGD ของหุ้นกู้เอกชนระยะยาว (LGD for long-term corporate debts) 22

5.3 ผลลัพธ์การประมาณค่า LGD หุ้นกู้เอกชนไทยระยะยาว 26

5.4 ข้อจำกัดในการนำผลลัพธ์ Loss Given Default ไปใช้ 26

6. การเผยแพร่ 27

1. วัตถุประสงค์ในการศึกษา

สมาคมตลาดตราสารหนี้ไทย ในฐานะศูนย์กลางข้อมูลตลาดตราสารหนี้ ได้ทำการคำนวณความน่าจะเป็นในการผิดนัดชำระหนี้ (probability of default : PD) และประมาณค่าความสูญเสียของการผิดนัดชำระหนี้ (Loss Given Default : LGD) ของตราสารหนี้ไทยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่า PD และ LGD ดังกล่าวเป็นทางเลือก ในการคำนวณมูลค่าการกันสำรองการลงทุนในตราสารหนี้สำหรับผู้ลงทุนในตราสารหนี้ไทย ซึ่งตามมาตรฐานการรายงานทางการเงิน ฉบับที่ 9 เรื่อง เครื่องมือทางการเงิน (TFRS 9 Financial Instrument) กำหนดให้ใช้มูลค่าดังกล่าวเป็น expected credit loss (ECL) โดยมาตรฐานบัญชี TFRS 9 จะเริ่มบังคับใช้กับภาคธุรกิจในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2563 เป็นต้นไปโดยรายงานฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ใช้งานค่า PD และ LGD เข้าใจภาพรวมของกระบวนการคำนวณได้โดยสะดวก รวมถึงสมมติฐานและข้อจำกัดในการใช้งาน จึงนำไปสู่การประยุกต์ใช้ค่า PD และ LGD ที่เหมาะสม

2. การกันสำรองการลงทุนในตราสารหนี้ตามมาตรฐานบัญชี TFRS 9 (TFRS 9 Impairment)

มาตรฐานบัญชี TFRS 9 จะมีประเด็นหลักทั้งหมด 3 ประเด็น ได้แก่

(1) การจัดประเภทรายการและการวัดมูลค่า (Classification and Measurement)

(2) การด้อยค่าของเครื่องมือทางการเงิน (Impairment)

(3) การบัญชีป้องกันความเสี่ยง (Hedge Accounting)

ทั้งนี้ มาตรฐานบัญชี TFRS 9 ได้มีข้อกำหนดเพิ่มเติมในเรื่องการด้อยค่า (Impairment) โดยกิจการจะรับรู้ผลขาดทุนด้านเครดิต“ทันที”เมื่อซื้อหรือกำเนิดเครื่องมือทางการเงิน แทนที่มาตรฐานบัญชีเดิม (TAS39) ที่ต้องมี“ข้อบ่งชี้”ทางเครดิตของตราสารหนี้“ก่อน” กิจการจึงจะรับรู้ผลขาดทุนด้านเครดิตได้

การกำหนดขอบเขตการด้อยค่าของ TFRS 9 ว่าตราสารประเภทใดที่ต้องทำการรับรู้ผลขาดทุนด้านเครดิตตามมาตรฐานบัญชี TFRS 9 หากเครื่องมือทางการเงินที่ได้รับการจัดประเภทเป็นตราสารหนี้ตราสารหนี้ที่ต้องทำการรับรู้การด้อยค่าต้องผ่านเกณฑ์คุณสมบัติ 2 ประการ ได้แก่

ประการแรก ตราสารหนี้มีลักษณะทาง Business Model เป็น Hold to collect หรือ Hold and sell

ประการที่สอง เครื่องมือทางการเงินผ่านเกณฑ์ Sole Payment of Principal and Interest (SPPI)

หากเป็นเครื่องมือทางการเงินที่ผ่านเกณฑ์ทั้ง 2 ประการ กิจการจะต้องทำการรับรู้ผลขาดทุนด้านเครดิต โดยนิยามที่ TFRS 9 กำหนดให้ใช้ในการคำนวณมูลค่าผลขาดทุนด้านเครดิต คือ expected credit loss ซึ่งมองภาพความสามารถในการชำระหนี้ของกิจการ (credit risk) ในกรอบเวลา 12 เดือนซึ่งแบ่งเกณฑ์การพิจารณา credit risk ของกิจการเป็น 3 ระดับ[1] ได้แก่

ระดับที่ 1เมื่อมีการซื้อหรือกำเนิดเครื่องมือทางการเงิน กิจการต้องรับรู้ผลขาดทุนด้านเครดิตที่คาดว่าจะเกิดขึ้นใน 12 เดือนข้างหน้า (12-month expected credit loss) ในกำไรหรือขาดทุน

ระดับที่ 2 หากความเสี่ยงด้านเครดิตของกิจการสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นับตั้งแต่มีการรับรู้รายการเมื่อเริ่มแรก กิจการต้องวัดมูลค่าของค่าเผื่อผลขาดทุนของเครื่องมือทางการเงินด้วยจำนวนเงินที่เท่ากับผลขาดทุนด้านเครดิตที่คาดว่าจะเกิดขึ้นตลอดอายุของตราสาร (lifetime expected credit loss)

ระดับที่ 3 เมื่อมีความเสี่ยงด้านเครดิตของกิจการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีหลักฐานชัดเจนถึงการด้อยค่าด้านเครดิตกิจการรับรู้ผลขาดทุนด้านเครดิตที่คาดว่าจะเกิดขึ้นตลอดอายุหนี้ และจะคำนวณดอกเบี้ยรับจากมูลค่าสินทรัพย์หลังหักผลขาดทุนด้านเครดิต

ซึ่งการรับรู้ผลขาดทุนด้านเครดิตและประเภทรายรับจากดอกเบี้ยเป็นจุดประสงค์หนึ่งของมาตรฐานบัญชี TFRS 9 ที่ต้องการให้กิจการมีความพร้อมในการรับภาระการขาดทุนจากการรับรู้รายการลูกหนี้ในงบการเงิน โดยไม่เพียงพิจารณาจากความสามารถในการชำระหนี้ในอดีตของลูกหนี้เท่านั้น แต่พิจารณาถึงภาวะของธุรกิจในปัจจุบันและคาดการณ์ภาวะเศรษฐกิจมหภาคที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต (forward looking)

[1] อ้างอิงข้อมูลจากเจริญกัลป์ วิระยา, และเจียรวัชระมงคล วันทนา. “มาตรฐานการรายงานทางการเงินที่สำคัญต่อธุรกิจประกันภัย เรื่อง...มาตรฐานการรายงานทางการเงิน เรื่อง เครื่องมือทางการเงิน ตอนที่ 1.” www.oic.or.th.

ตาราง 1 การรับรู้การด้อยค่าของสินทรัพย์ทางการเงินแบ่งตามความเสี่ยงการผิดนัดชำระหนี้ของกิจการ อ้างอิงจาก TFRS9

Impairment Recognition			
Stage	**Stage 1: Performing**	**Stage 2: Under-performing**	**Stage 3: Non-performing**
Trigger Event	-	- Significant increase in credit risk since initial recognition	- Significant increase in credit risk since initial recognition, - Objective evidence of credit impairment
Impairment loss recognition	12-month expected credit loss	Lifetime expected credit loss	Lifetime expected credit loss
Interest revenue recognition	On gross basis	On gross basis	On net basis

หมายเหตุ: มาตรฐานบัญชี TFRS 9

จากตาราง 1 จะเห็นว่าการรับรู้การด้อยค่ามี 3 ระดับ (stage) และระดับการรับรู้การด้อยค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญต่อความสามารถในการชำระหนี้ของกิจการ ใน stage 1 กิจการมีการรับรู้ปกติโดยใช้ค่า 12-month expected credit loss ซึ่งหากมีเหตุการณ์ที่เป็นข้อบ่งชี้ว่ามีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญต่อความสามารถในการชำระหนี้ของกิจการ ผู้ลงทุนต้องบันทึกมูลค่าการกันสำรองการลงทุนด้วยมูลค่า lifetime expected credit loss ใน stage 2 โดยที่ยังคงมีการรับรู้ดอกเบี้ยแบบ gross basis หากตราสารหนี้ผิดนัดชำระหนี้ให้ใช้การกันสำรองการลงทุนแบบ lifetime expected credit loss และรับรู้รายรับดอกเบี้ยแบบ net basis และยังเป็นที่สังเกตว่ามูลค่าการรับรู้การด้อยค่าในทุก stage จะขึ้นอยู่กับผลการคำนวณ expected credit loss เป็นสำคัญ ซึ่งมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

3. การคำนวณ Expected Credit Loss

การคำนวณมูลค่า expected credit loss จะขึ้นอยู่กับว่าตราสารหนี้มีระดับความเสี่ยงด้านเครดิตอยู่ในระดับใด สำหรับกรณีที่ความเสี่ยงด้านเครดิตของตราสารหนี้อยู่ในstage 1 (ในตาราง 1) ณ วันที่ผู้ลงทุนทำการสรุปยอดบัญชีจะรับรู้การด้อยค่าโดยใช้ 12-month expected credit loss สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$12-monthECL=\sum_{n=1}^{lifetime}\left(PD_{\mathrm{rating,12-month}}*\mathrm{LGD}*(1+rate)^{-\mathrm{n}}*EAD_{\mathrm{n}}\right) \qquad (1)$$

หากผู้ลงทุนได้ระบุว่ามี significant increase in credit risk ของกิจการจะทำให้การรับรู้การด้อยค่าปรับเพิ่มมาอยู่ใน stage 2 (ในตาราง 1) หรือstage 3 (ในตาราง 1) ณ วันที่ผู้ลงทุนทำการสรุปยอดบัญชีและผู้ลงทุนจะรับรู้การด้อยค่าโดยใช้ lifetime expected credit loss ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$lifetimeECL \quad = \sum_{n=1}^{lifetime} \left(PD_{\text{rating},n} * \text{LGD} * (1 + rate)^{-\text{n}} * EAD_{\text{n}} \right) \qquad (2)$$

โดย $12 - monthECL$ หมายถึง สัดส่วนของผลขาดทุนด้านเครดิตที่คาดว่าจะเกิดขึ้นตลอดอายุซึ่งเป็นผลขาดทุนด้านเครดิตจากเหตุการณ์ปฏิบัติผิดสัญญาของเครื่องมือทางการเงินที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดขึ้นภายใน 12 เดือนนับจากวันที่รายงาน[2]

$lifetimeECL$ หมายถึง ผลขาดทุนด้านเครดิตที่ถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักจากความเสี่ยงของการปฏิบัติผิดสัญญา ที่อาจจะเกิดขึ้น[3]

$PD_{\text{rating},12-\text{month}}$ หมายถึง ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่ผู้ออกที่ได้รับอันดับความน่าเชื่อถือratingจะผิดนัดชำระหนี้ภายในระยะเวลา 12 เดือน นับจากวันที่รายงาน

$PD_{\text{rating},\text{n}}$ หมายถึง ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่ผู้ออกที่ได้รับอันดับความน่าเชื่อถือ rating จะผิดนัดชำระหนี้ภายในระยะเวลา nperiod นับจากวันที่รายงาน

LGD หมายถึง มูลค่าที่สามารถซื้อขายได้ของตราสารหนี้ ในกรณีที่ผู้ออกตราสารหนี้ผิดนัดชำระหนี้

$rate$ หมายถึง อัตราดอกเบี้ยที่ใช้คิดลดกระแสเงินสดเป็นมูลค่าปัจจุบันต่อ 1 period ซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานบัญชีกำหนดและอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะเวลา n

n หมายถึง ระยะเวลาที่จะได้รับกระแสเงินสดหรือ period มีค่าเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง

จากสูตรการคำนวณ 12-month ECL และ lifetime ECL จะเห็นได้ว่าค่า PD และ ECL มีความสำคัญอย่างมากในการคำนวณค่า expected credit loss

[2] ตามนิยามที่ปรากฏในมาตรฐานบัญชี TFRS9

[3] ตามนิยามที่ระบุในมาตรฐานบัญชี TFRS9

4. วิธีการคำนวณความน่าจะเป็นในการผิดนัดชำระหนี้ของตราสารหนี้ (Probability of Default : PD)

4.1 PD ของพันธบัตรรัฐบาลไทย

สมาคมตลาดตราสารหนี้ไทย ได้คำนวณค่า PD ของพันธบัตรรัฐบาลไทยเป็นร้อยละ 0.00 ทุกช่วงอายุของพันธบัตร โดยมาจากสมมติฐานที่ว่ารัฐบาลไทยไม่เคยมีสถิติการผิดนัดชำระหนี้ในอดีต และรัฐบาลไทยมีสิทธิและอำนาจในการจัดเก็บภาษีเต็มที่เพื่อรองรับภาระการจ่ายหนี้ที่จะครบกำหนดในอนาคตโดยเป็นสมมติฐานที่พิจารณาค่า PD ของพันธบัตรรัฐบาลไทยในกรณีที่มีสกุลเงินของมูลค่าหน้าตั๋วเป็นสกุลเงินบาทเท่านั้น

4.2 PD ของหุ้นกู้เอกชน

ค่า PD ของหุ้นกู้เอกชนคำนวณมาจาก credit transition matrix (CTM) ตามวิธีของศ.ดร.อัญญา ขันธวิทย์[4] และนำผลลัพธ์ CTM ที่คำนวณได้มาปรับปรุงให้สะท้อนถึงปัจจัยทางเศรษฐกิจมหภาค (GDP forecast) ด้วยวิธีของ Tomas Vanek[5] ซึ่ง matrix ดังกล่าวเป็น matrix ขนาด 8 x 8[6] ซึ่งสะท้อนถึงความน่าจะเป็นที่อันดับเครดิตจะเปลี่ยนแปลงจากอันดับเครดิต ณ ช่วงต้น period (h) เป็นอันดับเครดิต ณ ช่วงปลาย period (h) โดยในส่วนของศ.ดร.อัญญาจะสร้าง CTM จากข้อมูลเพียงสองชนิดด้วยกันคือสถิติการเปลี่ยนแปลงอันดับเครดิตและสถิติการผิดนัดชำระหนี้ที่เกิดขึ้นจริงในตลาดตราสารหนี้ไทย ซึ่งเป็นข้อมูล CTM ของ S&P (ตาราง 2) และข้อมูลจาก TRIS (ตาราง 3) โดยจะเป็นการสร้าง probability density function ของ CTM ที่ต้องการขึ้นมาใหม่ตามหลักการของ Bayesian statistics ร่วมกับวิธีการ Generator ตามลำดับ ซึ่ง CTM ที่คำนวณได้หลังจากผ่านกระบวนการ Bayesian Statistics และ Generator แล้วจะได้ค่า CTM ที่สอดคล้องกับทฤษฎีทางการเงินสำคัญ 3 ประการ ได้แก่

ประการที่หนึ่ง “Diagonal dominance” หมายความว่า ความน่าจะเป็นที่อันดับเครดิต ณ ต้นปี และ ณ สิ้นปี จะคงเดิมมีมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับข้อเท็จจริง (stylized fact) ในตลาดตราสารหนี้ไทยในปัจจุบัน

ประการที่สอง “Strict ordering” หมายความว่า ความน่าจะเป็นที่ตราสารหนี้ในอันดับเครดิตที่คุณภาพสูงจะผิดนัดชำระหนี้น้อยกว่าความน่าจะเป็นที่ตราสารหนี้ในอันดับเครดิตที่คุณภาพต่ำผิดนัดชำระหนี้

---

[4] Khanthavit, Anya, 2011, Theory-Consistent Transition-Probability Matrix, Thammasat University, Bangkok (in Thai).

[5] Vaněk, Tomáš, and David Hampel."The Probability of Default Under IFRS 9: Multi-period Estimation and Macroeconomic Forecast." *ActaUniversitatisAgriculturae et SilviculturaeMendelianaeBrunensis* 65.2 (2017): 759-776.ws

[6] ดูรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับ Credit Transition Matrix ในภาคผนวก ก

ประการที่สาม “Proper Markov Matrix” เป็นคุณสมบัติที่กำหนดให้ไม่มีสมาชิกใดใน CTM มีค่าติดลบ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่พึงประสงค์ตามทฤษฎีทางสถิติหากค่าของสมาชิกใน matrix เป็นค่าความน่าจะเป็น

ตาราง 2 S&P Credit Transition Matrix ระยะเวลา 1 ปี

	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC/C	Default
AAA	89.8%	9.4%	0.5%	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%
AA	0.5%	90.6%	8.2%	0.5%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
A	0.0%	1.8%	92.3%	5.4%	0.3%	0.1%	0.0%	0.1%
BBB	0.0%	0.1%	3.6%	91.6%	3.9%	0.5%	0.1%	0.2%
BB	0.0%	0.0%	0.1%	5.3%	85.8%	7.4%	0.6%	0.7%
B	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	5.6%	85.1%	5.0%	3.9%
CCC/C	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.7%	15.6%	51.5%	31.8%
Default	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

ที่มา: S&P Rating

ตาราง 3 สถิติการผิดนัดชำระหนี้ของหุ้นกู้เอกชนระยะยาวที่ออกในประเทศไทยตั้งแต่ปี 1994-2018

	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC/C	Default
AAA	38	3	0	0	0	0	0	0
AA	7	154	8	0	0	0	0	1
A	0	21	598	11	0	0	0	1
BBB	0	0	29	524	15	2	0	10
BB	0	0	0	3	21	0	0	2
B	0	0	0	0	0	0	1	1
CCC/C	0	0	0	0	0	0	0	1

ที่มา: TRIS Rating

4.2.1 Bayesian Probability

ในส่วนของการหาค่าของ CTM ตามหลักการ Bayesian Approach จะระบุ probability density function ของผลลัพธ์ที่ต้องการ (เรียกว่า Posterior density function) จากรูปแบบของ Likelihood function และ Prior density function ดังนี้

Posterior density function $\propto$ Likelihood function x Prior density function (3)

ซึ่งหากกำหนดรูปแบบของสมการ Likelihood function และ Prior density function จะสามารถหาค่า Posterior density function ได้

เมื่อได้รูปแบบการกระจายตัวของ Posterior density function แล้วจึงนำมาหาค่าที่คาดหวัง หรือ first moment ของการกระจายตัวดังกล่าว ในแต่ละ element ของ CTM ซึ่งแทนค่าด้วยสัญลักษณ์ $\pi(i,j)^*$ ตามแบบสมการด้านล่าง

$$\pi(i,j)^* = \frac{\alpha_{i,j}M_i + n(i,j)}{M_i + N_i} \quad (4)$$

i,j เป็นจำนวนเต็มที่มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 8

$\pi(i,j)^*$ หมายถึง ความน่าจะเป็นที่อันดับเครดิต ณ เริ่ม period (h) จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นอันดับเครดิตที่ระบุไว้ใน CTM ณ สิ้นสุด period (h)

$n(i,j)$ เป็นสถิติการเปลี่ยนแปลงอันดับเครดิตที่เกิดขึ้นจริงในอดีตณ แถว iคอลัมน์ j (ข้อมูล TRIS)

$\alpha_{i,j}$ เป็นข้อมูล S&P CTM ณ แถว iคอลัมน์ j

M_i เป็นค่าน้ำหนัก (optimal weight) ที่ประสมประสานระหว่างน้ำหนักข้อมูลของ TRIS และ S&P โดยการประมาณค่าค่า M_i มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการประมาณค่า CTM และจะใช้วิธี Maximum Likelihood Estimator (MLE) จึงจะได้ค่า M_i ที่เหมาะสมมากที่สุดตามมุมมองของสถิติ[7]

เมื่อแทนค่า $\alpha_{i,j}M_i$ และ $n(i,j)$ สำหรับทุกค่า i และ j แล้วจะได้ค่า $\pi(i,j)$ ซึ่งเป็นค่าคาดหวัง (expected) ของ transition probability ในคู่อันดับเดรดิต (i,j) ต่าง ๆ (ตาราง 4) ซึ่งในที่นี้จะได้ค่า CTM ที่เป็น diagonal dominance แต่ยังขาดคุณสมบัติประการที่สองและประการที่สามที่พึงประสงค์ตามทฤษฎีทางการเงิน

[7] ดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน main reference paper

ตาราง 4 ค่า CTM จาก Bayesian Probability สำหรับช่วงระยะเวลา 1 ปี

	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC/C	Default
AAA	89.82%	9.42%	0.55%	0.05%	0.08%	0.03%	0.05%	0.00%
AA	3.10%	90.60%	5.69%	0.14%	0.01%	0.02%	0.01%	0.43%
A	0.00%	3.19%	94.55%	2.07%	0.03%	0.01%	0.00%	0.15%
BBB	0.00%	0.00%	5.00%	90.35%	2.59%	0.35%	0.00%	1.72%
BB	0.01%	0.02%	0.08%	7.52%	84.03%	4.78%	0.39%	3.17%
B	0.00%	0.02%	0.09%	0.19%	5.63%	85.09%	5.05%	3.93%
CCC/C	0.00%	0.00%	0.13%	0.24%	0.70%	15.63%	51.49%	31.82%
Default	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

ที่มา: author's calculation

4.2.2 Constrained Optimization

ในการปรับให้ CTM ที่คำนวณได้มีคุณสมบัติประการที่สองหรือ strict ordering จะต้องทำการหาค่า M_iที่ทำให้ค่า probability of default ของแต่ละอันดับเครดิตเพิ่มขึ้นเมื่ออันดับเครดิตของกิจการลดต่ำลงอย่างเคร่งครัด โดยการทำให้ค่า PD เรียงตัวอย่างเคร่งครัดจะใช้วิธีการ constrained optimization ซึ่งระบุให้ $\pi(i,j)^* < \pi(s,j)^*$ โดยที่ $i<s$ สำหรับทุกค่า i และ s ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ตั้งแต่ 1 ถึง 8 และ j=8 จากนั้นจะได้ค่า CTM ที่สอดคล้องกับทฤษฎีทางการเงินประการที่หนึ่งและประการที่สอง จากตาราง 4 จะเห็นว่าค่า PD ของหุ้นกู้ที่ได้รับการจัดอันดับเครดิต AA สูงกว่าค่า PD ของหุ้นกู้ที่ได้รับการจัดอันดับเครดิต A จึงต้องทำการ constrained optimization อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ CTM ที่คำนวณได้ในขั้นตอนนี้ยังขาดคุณสมบัติประการที่สาม (ไม่มีค่าความน่าจะเป็นของคู่อันดับเครดิตใดมีค่าน้อยกว่าศูนย์)

4.2.3 Generator Matrix

เป็นที่น่าสังเกตว่าแม้ไม่มีค่า transition probability มีค่าน้อยกว่าศูนย์สำหรับระยะเวลา 1 ปี แต่คู่อันดับเครดิตที่มีค่า transition probability เป็นร้อยละ 0 อาจจะมีค่าน้อยกว่าศูนย์ใน CTM ที่มีระยะเวลาน้อยกว่า 1 ปีได้ จึงต้องนำ CTM ที่คำนวณได้ในข้อ 4.2.2 มาปรับปรุงด้วยวิธีการของ Generator Matrix เพื่อให้มั่นใจได้ว่าไม่มีค่า transition probability ใดมีค่าน้อยกว่าศูนย์ โดยกระบวนการ Generator Matrix เป็นวิธีที่ Israel et al.

(2001) แนะนำ และยังเป็นหนึ่งในวิธีมาตรฐานที่ใช้คำนวณ CTM (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ซึ่งผลลัพธ์ CTM ที่คำนวณได้จากกระบวนการ Generator จะได้ CTM ที่มีช่วงอายุ 1 ปีและสอดคล้องกับทฤษฎีทางการเงินทุกประการ (ตาราง 5)

ตาราง 5 ค่า CTM สำหรับช่วงระยะเวลา 1 ปี ที่สอดคล้องกับทฤษฎีทางการเงินทุกประการ

	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC/C	Default
AAA	89.81%	9.41%	0.55%	0.05%	0.08%	0.03%	0.05%	0.02%
AA	0.52%	90.64%	8.17%	0.51%	0.05%	0.06%	0.02%	0.02%
A	0.01%	3.19%	94.54%	2.07%	0.03%	0.01%	0.00%	0.15%
BBB	0.00%	0.09%	4.97%	90.29%	2.57%	0.34%	0.01%	1.71%
BB	0.01%	0.03%	0.21%	7.49%	83.97%	4.75%	0.39%	3.15%
B	0.00%	0.02%	0.10%	0.26%	5.61%	85.06%	5.03%	3.92%
CCC/C	0.00%	0.00%	0.13%	0.24%	0.70%	15.63%	51.48%	31.82%
Default	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

ที่มา: author's calculation

แม้ว่าวิศวกรการเงินจะสามารถคำนวณ CTM ที่สอดคล้องกับวิธีการที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น แต่ยังไม่สามารถนำมาปรับใช้เป็นค่า probability of default ที่สอดคล้องกับมาตรฐานบัญชี TFRS 9 ได้เนื่องจากขาดคุณสมบัติสำคัญสองประการ ได้แก่ค่า CTM ขาดการพิจารณาถึงภาวะเศรษฐกิจมหภาคที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต และค่า CTM ขาดการพิจารณาภาวะทางเศรษฐกิจในหลาย scenarios

4.2.4 การพิจารณาผลกระทบของ macroeconomic forecast ในค่า probability of default

ทางสมาคมตลาดตราสารหนี้ไทยได้ทำการรวมการพยากรณ์ปัจจัยทางเศรษฐกิจมหภาคเข้าไปในค่า probability of default เพื่อปรับปรุงให้ค่า probability of default ที่คำนวณได้ (ตาราง 5) เป็น TFRS 9 Probability of default โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณจากงานวิชาการของTomas Vanek และ David Hampel[8] ซึ่งอาจสรุปหลักคิดสำคัญ ในการพิจารณาผลกระทบ macroeconomic forecast กับค่า probability of default สามประการ ได้แก่

[8]Vaněk, Tomáš, and David Hampel."The Probability of Default Under IFRS 9: Multi-period Estimation and Macroeconomic Forecast." *ActaUniversitatisAgriculturaeetSilviculturaeMendelianaeBrunensis* 65.2 (2017): 759-776.

ประการแรก ปัจจัยทางเศรษฐกิจมหภาคที่เลือกใช้และมีผลกระทบต่อ probability of default มากที่สุดคือ gross domestic product growth (%) (GDP Growth) และปัจจัยทางเศรษฐกิจมหภาคอื่น เช่น อัตราเงินเฟ้อ หรือ อัตราดอกเบี้ย ได้สะท้อนเป็นเชิงนโยบายอยู่ในผลการพยากรณ์ GDP Growth แล้ว

ประการที่สอง default rate จะมีความสัมพันธ์กับ GDP Growth ซึ่งวัดความสัมพันธ์ผ่านค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยอย่างง่าย (ordinary least square regression) เนื่องจากอาจอนุมานได้ว่าพอร์ทฟอลิโอสินเชื่อของธนาคารพาณิชย์มีพฤติกรรมการผิดนัดชำระหนี้ที่คล้ายคลึงกับพอร์ทฟอลิโอของตราสารหนี้

ประการที่สาม ใช้มูลค่า non-performing loan (NPL) เป็นตัวแปรแทน (proxy variable) ของอัตราการผิดนัดชำระหนี้ของตราสารหนี้เพื่อหาความสัมพันธ์กับมูลค่า GDP Growth

ในส่วนของการจัดทำแบบจำลองจะพิจารณาว่า GDP Growth และ NPL มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย (β) ระหว่างสองตัวแปนดังกล่าวเป็นเท่าไหร่ เมื่อกำหนดให้ NPL เป็นตัวแปรแทนของ PD จะได้ β จะเป็นค่าที่ระบุปริมาณผลกระทบที่ GDP Growth จะมีต่อ PD ในรูปแบบ linear relationship

4.2.5Ordinary Least Square for Quantifying Economic Relationship between NPL and GDP

การผิดนัดชำระหนี้ของตราสารหนี้และ GDP Growth สามารถวัดความสัมพันธ์เชิงปริมาณได้ด้วย ordinary least square regression

$$\Delta NPL\ (\%) = \alpha + \beta * GDP\ Growth\ Surprise(\%)_t \qquad (5)$$

โดยที่ α คือ ค่าคงที่คำนวณได้จากสมการถดถอยแสดงมูลค่า $\Delta NPL\ (\%)$ เมื่อ $GDP\ Growth\ Surprise(\%)_t$ มีค่าเท่ากับศูนย์

β คือ ค่าคงที่คำนวณได้จากสมการถดถอย แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง GDP และ NPL

$\Delta NPL\ (\%)$ คือ การเปลี่ยนแปลงมูลค่า NPL (หน่วยเป็นร้อยละ)

$GDP\ Growth\ Surprise(\%)_t$ คือ ส่วนต่างระหว่าง Long-term steady state GDP Growth และ GDP Growth ในปีปัจจุบัน (หน่วยเป็นร้อยละ)

โดยจะได้ค่า β ที่มีนัยสำคัญทางสถิติและมีค่าน้อยกว่าศูนย์ซึ่งสอดคล้องกับเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์ที่ว่าเมื่อภาวะเศรษฐกิจแย่ลงจะทำให้บริษัทมีโอกาสผิดนัดชำระหนี้เพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น หากค่า β = -0.1 หมายความว่า หาก GDP Growth ในปีปัจจุบันมากกว่า Long-term steady state GDP Growth 1% จะประมาณการได้ว่ามูลค่า NPL ณ สิ้นปีจะลดลง 0.1% และหาก GDP Growth ในปีปัจจุบันน้อยกว่า Long-term steady state GDP Growth 1% จะทำให้มูลค่า NPL เพิ่มขึ้น 0.1% ซึ่งการกำหนดให้มูลค่า NPL เป็นตัวแปรแทน (proxy variable) ของความน่าจะเป็นในการผิดนัดชำระหนี้ของตราสารหนี้อาจอนุมานได้ว่ามูลค่า NPL(%) ที่เปลี่ยนแปลงแปรผันตรงกับมูลค่า probability of default (%) ของตราสารหนี้ในทุกช่วงอันดับเครดิตที่จะเปลี่ยนแปลง

4.2.6 Economic Adjustment CoefficientEstimation

ในการประเมินผลค่าของ GDP forecast ที่อาจมีผลต่อค่า probability of default จะประเมินจากค่า β ในสมการ regression และเรียก CTM ที่ผ่านการรวมผลกระทบจากผลลัพธ์การพยากรณ์ GDP ที่ใช้ปรับค่า probability of default สำรหรับระยะเวลา 1 ปีว่า $\boldsymbol{P^1_{EAC}}$ (สมการ(7)) ซึ่งค่า $\boldsymbol{P^1}$ ที่นำมาใช้คำนวณ (สมการ (6)) จะเป็นค่า CTMสำหรับระยะเวลาที่คำนวณได้จากตาราง 5และหากตั้งสมมติฐานว่าผลกระทบที่ GDP มีต่อ NPL เป็นครึ่งหนึ่งของผลกระทบที่ GDP มีต่อ probability of default(half effect) จะสามารถปรับ CTM ระยะเวลา 1 ปี ($\boldsymbol{P^1_{EAC}}$) ได้ดังนี้

$$\boldsymbol{P^1} = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,8} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,8} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{8,1} & p_{8,2} & \cdots & p_{8,8} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\boldsymbol{P_{EAC}^{1}} = \begin{bmatrix} p_{1,1} - \Delta & * \beta * W_{i,j} * c_1 & p_{1,2} - \Delta & * \beta * W_{i,j} * c_1 & \dots & p_{1,8} + \Delta & * \beta * W_{i,j} * d_1 \\ p_{2,1} - \Delta & * \beta * W_{i,j} * c_2 & p_{2,2} - \Delta & * \beta * W_{i,j} * c_2 & \dots & p_{2,8} + \Delta & * \beta * W_{i,j} * d_2 \\ & \vdots & & \vdots & \ddots & & \vdots \\ p_{7,1} - \Delta & * \beta * W_{i,j} * c_7 & p_{7,2} - \Delta & * \beta * W_{i,j} * c_7 & \dots & p_{7,8} + \Delta & * \beta * W_{i,j} * d_7 \\ & 0 & & 0 & \dots & & 1 \end{bmatrix}^{n} \quad (7)$$

โดยที่ EAC ย่อมาจาก economic adjustment coefficient

$W_{i,j}$ คือ ค่าน้ำหนักของ GDP ที่จะมีผลกระทบต่อ PD

Δ คือ ผลต่างระหว่างค่าประมาณการ GDP Growth ของปีที่ใช้คำนวณข้อมูลและ long-term steady state GDP growth

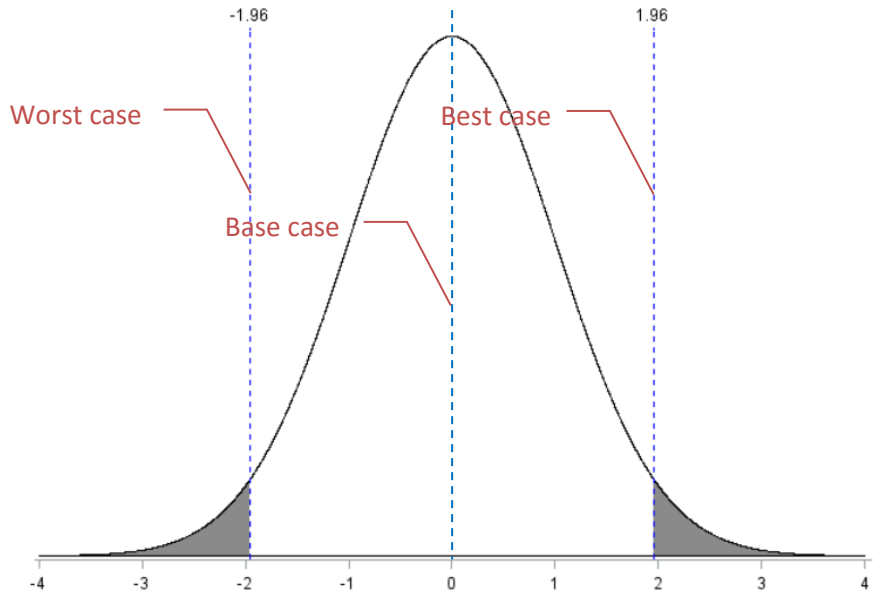
β คือ ความสัมพันธ์ระหว่าง GDP และ NPLที่ผ่านการประมาณการจาก OLS regression

c_i, d_i คือ logarithmic decay factor

4.2.7 Probability-weighted scenarios

เมื่อได้ค่า P_{EAC}^{1} ตามสมการ (7) ในข้อ 4.2.6 จึงนำมาทำ probability-weighted scenarios ของ GDP growth forecast และนำค่า GDP growth forecast ในแต่ละ scenarios ไปคำนวณค่า PD และหากนำค่า PD ไปคำนวณ weighted average จะได้ค่า PD สำหรับตราสารหนี้ที่ได้รับการจัดอันดับเครดิต AAA, AA, A, BBB, BB, B, CCC/C (ดังแสดงในแผนภาพ 6) โดยมีรายละเอียดดังนี้

แผนภาพ 6 แสดงการเลือก GDP growth scenario ในกรณี worst case, best case และ base case



ที่มา:Google Image

คำนวณค่า probability-weighted PD

ขั้นตอน 1 เลือกสมมติฐาน long-term steady state GDP growthโดยอาจพิจารณาจากประมาณการเศรษฐกิจไทยของธนาคารแห่งประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง หรือสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติและกำหนดเป็น base case scenario

ขั้นตอน 2 เลือกสมมติฐานค่าความเชื่อมั่นทางสถิติ (ThaiBMA กำหนดเป็น 95%, two-tailed)

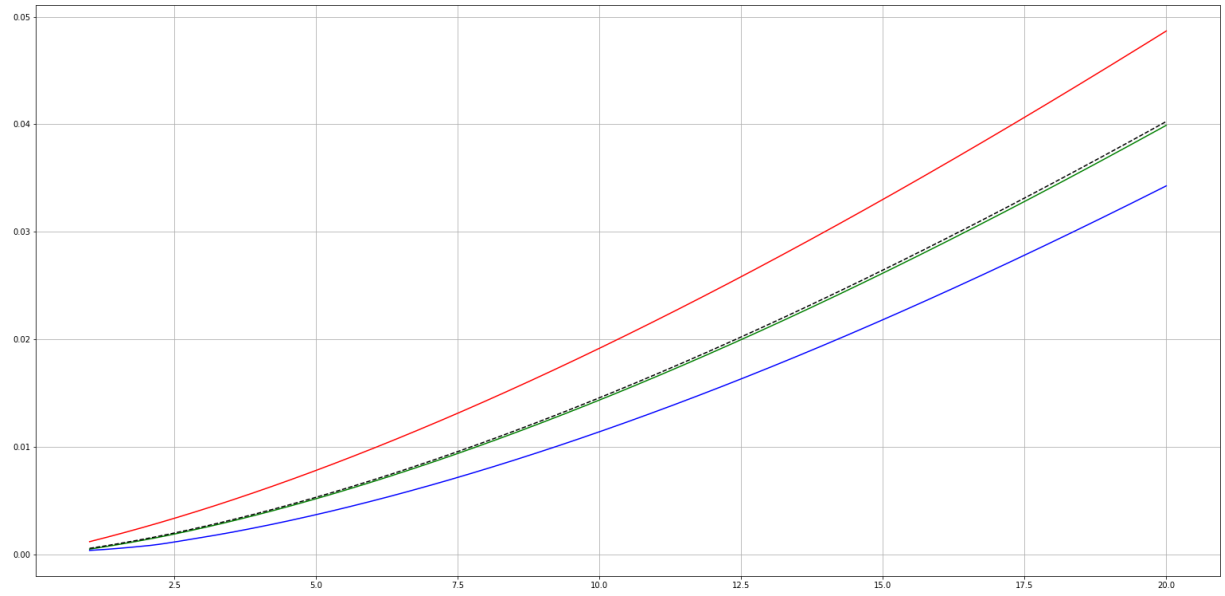
ขั้นตอน 3 คำนวณค่า long-term GDP growth ในกรณีที่ growth แบบ worst case (GDP growth at critical z-score at left tail: z≈-1.96) และ best case (GDP growth at critical z-score at right tail: z≈1.96) และ base case (GDP growth at mean: z=0)

ขั้นตอน 4 นำค่า GDP growth forecast ในแต่ละ scenario ไปคำนวณค่า PD อีกครั้ง

ขั้นตอน 5 คำนวณค่า weight ของแต่ละ scenario โดยนำค่า probability ทั้ง 3 scenarios มาเป็น proportion ซึ่งหากปรับสัดส่วนให้ผลรวมเป็น 1 แล้วจะได้ค่า weight ของแต่ละ scenario

ขั้นตอน 6 คำนวณค่า weight (ขั้นตอน 5) และค่า probability of default (ขั้นตอน 4) ที่คำนวณได้มาคำนวณ weighted average PD สำหรับตราสารอายุ 1 ปีและเป็นค่าที่นำไปใช้จริงซึ่งการทำเป็น probability-weighted scenarios แสดงในภาพ 7

แผนภาพ 7 ค่า probability of default ของตราสารหนี้เอกชนไทยที่ได้รับการจัดอันดับความน่าเชื่อถือ A



แผนภาพ 7 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์การคำนวณ probability weighted scenarios ของ probability of default มีแกนตั้งเป็น probability of default (%) และแกนนอนเป็นอายุคงเหลือของตราสาร (ปี) เส้นสีต่าง ๆ จะเป็น scenarios ของ GDP growth forecast สำหรับหุ้นกู้ที่ได้รับการจัดอันดับเครดิต A โดยเส้นสีแดงแสดง worst case scenario เส้นสีเขียวแสดงถึง base case scenario เส้นสีฟ้าแสดงถึง best case scenario และเส้นประแสดงถึง weighted average probability of default จากทั้ง 3 scenarios โดยจะสังเกตได้ว่าค่า probability of default ใน base case scenario จะใกล้เคียงมากกับค่า probability of default ใน weighted average scenario

4.2.8 Chapman-Kolmogorov Equation for n-step Transition Probabilities

จากผลลัพธ์การประมาณค่า CTM ใน 4.2.7 เป็นค่า CTM ที่พิจารณาความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงอันดับเครดิตเฉพาะในระยะ 1 ปีข้างหน้า ซึ่งการประมาณค่า CTM ที่มากกว่าระยะ 1 ปี จะใช้วิธีการ Chapman-Kolmogorov Equationในการคำนวณ ดังนี้

$$\mathbf{P}^{(n)} = \mathbf{P} \times \mathbf{P} \times \ldots \times \mathbf{P}, n \geq 1 \qquad (8)$$

โดยที่ $\mathbf{P}^{(n)}$ คือ CTM สำหรับช่วงระยะเวลา n ปี

โดยในขั้นตอนนี้จะประมาณค่า **PD** ตามอายุคงเหลือของตราสารตั้งแต่ปีที่ 1 ถึงปีที่ 20

4.2.9 Approximation of Probability of Default into Fine Rating

ผลลัพธ์การประมาณค่า CTM ในข้อ 4.2.8 ทำให้สามารถใช้งานค่า probability of default ของหุ้นกู้ที่ได้รับการจัดอันดับเครดิต AAA, AA, … , CCC/C ในปีที่ 1, 2, 3, … , 20การประมาณค่า probability of default ของหุ้นกู้ที่ได้รับการจัดอันดับเครดิต AA+, AA-, A+, A-, BBB+, BBB-, BB+, BB-, B+, B- (fine rating) จะยึดหลักการเรียงตัวอย่างเคร่งครัด (monotonicity) ของ probability of default และใช้วิธี Piecewise Cubic Hermit Interpolating Polynomial (PCHIP) ดังปรากฏเป็นค่า PD สำหรับระยะเวลา 12 เดือน หรือ 1 ปี ทั้งนี้ ThaiBMAไม่ได้ทำการคำนวณค่า PD ที่อันดับเดรดิตต่ำกว่า CCC/C

4.2.10 Approximation of Probability of Default into Tiny Years

ผลลัพธ์การประมาณค่า CTM ในข้อ 4.2.9 ทำให้สามารถใช้งานค่า probability of default ของหุ้นกู้ที่ได้รับการจัดอันดับเครดิต AAA, AA, … , CCC/C ในปีที่ 1, 2 ,3 , … , 20 การประมาณค่า probability of default สำหรับตราสารหนี้ที่มีอายุคงเหลือเป็นทศนิยม เป็นต้นว่า 1.01 ปี, 10.87 ปี, 15.43 ปี, 19.99 ปี (tiny years) ฯลฯ จะยึดหลักการเรียงตัวอย่างเคร่งครัด (monotonicity) ของ probability of default และเลือกใช้วิธี Piecewise Cubic Hermit Interpolating Polynomial (PCHIP)

4.3. ผลลัพธ์การประมาณค่าProbability of Default for Thai Corporate Bonds

ผลลัพธ์การคำนวณค่า CTM สุดท้าย (final CTM output) ที่คำนวณได้สำหรับระยะเวลา 1 ปี จะเป็นผลลัพธ์ CTM จากข้อ 4.2.7 ซึ่งแสดงในตาราง 8 ผลลัพธ์ PD จากข้อ 4.2.10 แสดงในแผนภาพ 9 และผลลัพธ์ PD จากข้อ 4.2.9 แสดงในตาราง 10 โดยจะสังเกตได้ว่าผลลัพธ์ probability of default ในแผนภาพ 10จะมีการเรียงตัวอย่างเคร่งครัดจากน้อยไปมากตามคุณภาพเครดิตของหุ้นกู้ที่ต่ำลงและตามอายุคงเหลือของตราสารที่

เพิ่มขึ้น โดยมูลค่าที่ใช้ในการคำนวณ 12-month ECL จะเป็นมูลค่า probability of default ทางด้านซ้ายมือสุดของแผนภาพ 9 และแสดงเป็นตัวเลขได้ในตาราง 10[9]

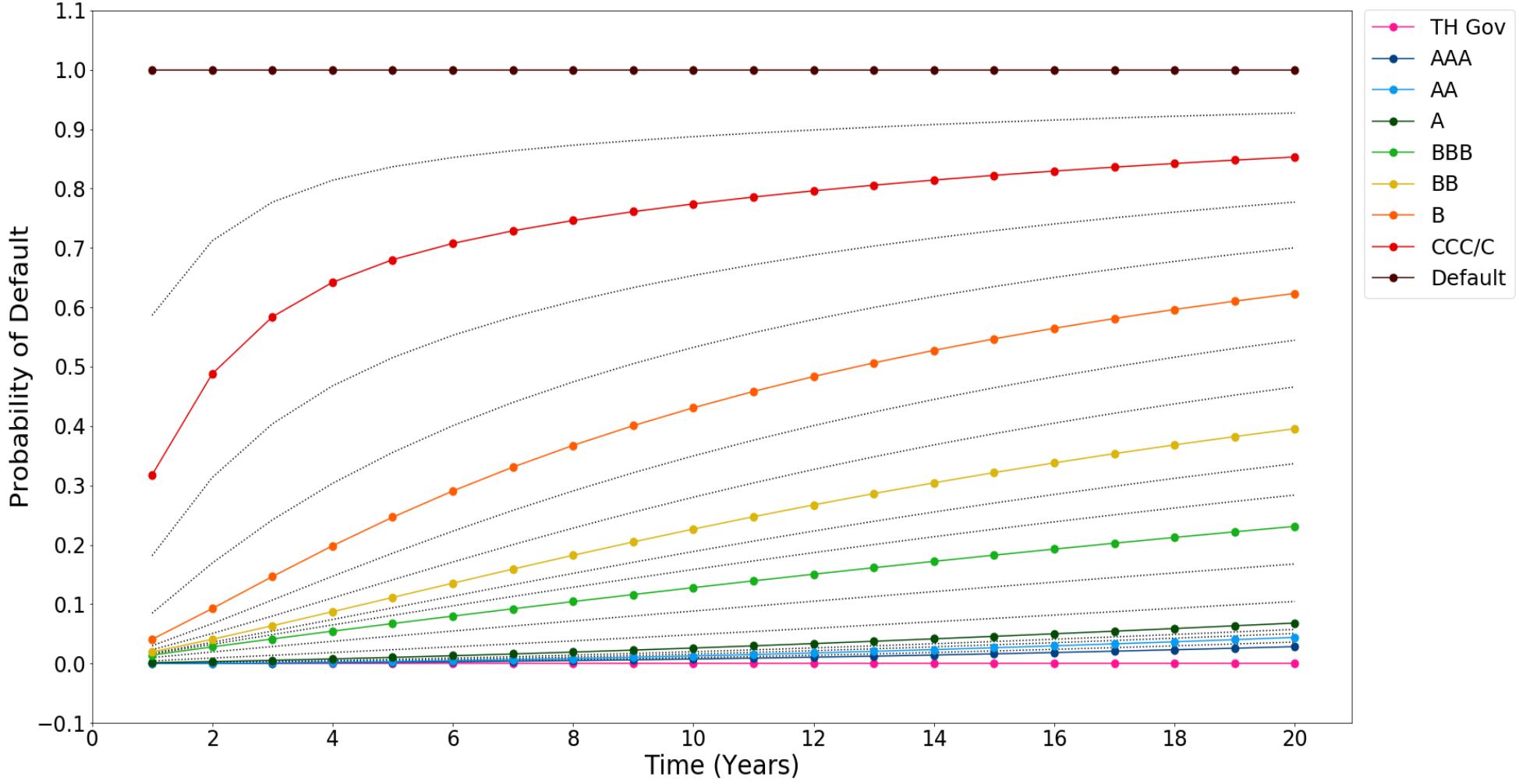
ตาราง 8 credit transition matrix สำหรับหุ้นกู้เอกชนระยะยาว ระยะเวลา 1 ปี

	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC/C	Default
AAA	89.81%	9.41%	0.54%	0.05%	0.08%	0.03%	0.05%	0.04%
AA	0.52%	90.64%	8.17%	0.51%	0.05%	0.06%	0.02%	0.05%
A	0.01%	3.18%	94.54%	2.06%	0.03%	0.01%	0.00%	0.18%
BBB	0.00%	0.08%	4.97%	90.29%	2.57%	0.34%	0.01%	1.74%
BB	0.00%	0.02%	0.21%	7.48%	83.96%	4.75%	0.39%	3.18%
B	0.00%	0.02%	0.09%	0.25%	5.61%	85.05%	5.03%	3.95%
CCC/C	0.00%	0.00%	0.13%	0.24%	0.69%	15.62%	51.48%	31.84%
Default	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

ที่มา:author's calculation

[9] ข้อมูล CTM และ PD ในตาราง 8 และ 10 เป็นข้อมูลที่ใช้เฉพาะในปี 2562 ผู้ใช้งานควรอ้างอิงข้อมูลจากหน้าเว็บไซท์ http://www.thaibma.or.th/EN/Market/PropDefault.aspx ซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นทางการและเป็นข้อมูลล่าสุด

แผนภาพ 9 ค่า IFRS 9 Probability of Default ในแต่ละอันดับเครดิตสำหรับช่วงเวลา 1-20 ปี



ที่มา: author's calculation

ตาราง 10 ค่า probability of default ของหุ้นกู้เอกชนไทย จำแนกตามแต่ละ rating

12-month PD (%)	
AAA	0.04%
AA+	0.05%
AA	0.05%
AA-	0.06%
A+	0.10%
A	0.18%
A-	0.38%
BBB+	0.94%
BBB	1.74%
BBB-	2.29%
BB+	2.79%
BB	3.18%
BB-	3.43%
B+	3.61%
B	3.95%
B-	6.55%
CCC+	15.87%
CCC/C	31.84%
CCC-	47.59%
CC	67.62%
C	87.78%
Default	100.00%

ที่มา: author's calculation

4.4 ข้อจำกัดในการใช้งานProbability of Default

ในการนำผลลัพธ์ probability of default ไปใช้มีข้อควรระวังในการใช้งานดังนี้

1. ค่า PD ที่คำนวณได้มาจากสมมติฐานการศึกษาซึ่ง ผู้ใช้งานควรมีการพิจารณาเพิ่มเติมถึงความเหมาะสม
2. จุดประสงค์หลักของการคำนวณค่า probability of default เพื่อประกอบการคำนวณมูลค่า expected credit loss ไม่ได้เพื่อให้ผู้ใช้งานนำไปประกอบการคำนวณราคาตราตราสารหนี้หรือประกอบการบริหารการลงทุนแบบเชิงรุก
3. เนื่องจากข้อมูลสถิติการผิดนัดชำระหนี้ที่เกิดขึ้นจริงในตลาดตราสารหนี้ไทยมีจำนวนจำกัด ค่า probability of default ที่คำนวณได้จึงเป็นการประมาณค่าทางสถิติและผลลัพธ์การศึกษาจึงขึ้นอยู่กับสมมติฐานทางสถิติที่ระบุไว้โดยในส่วนของ bayesian probability จะกำหนดให้ทั้ง prior distribution และ posterior distribution มีลักษณะการกระจายตัวแบบ dirichlet equation ส่วนสมการ likelihood และสมการกระจายตัวของ $\pi(i,j)^*$ จะอยู่ในรูป discrete multinomial distributionซึ่งจะมีคุณสมบัติของ conjugate prior (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน reference papers) (Anya, 2011)
4. แบบจำลองทางสถิติที่เลือกใช้เป็นการพิจารณาความเสี่ยงในการชำระเงินคืน (credit risk) ในภาพรวมของบริษัทที่จัดอยู่ในอันดับเครดิตเดียวกัน ภายใต้ภาวะแวดล้อมทางเศรษฐกิจเดียวกัน เท่านั้น ไม่ได้พิจารณาความเสี่ยงด้านการขาดสภาพคล่องในการขายเปลี่ยนมือ (liquidity risk)รวมถึงไม่ได้พิจารณาถึงเหตุการณ์ที่กระทบต่อความสามารถในการชำระหนี้รายบริษัท (idiosyncratic risk) เป็นต้นว่า ไม่ได้พิจารณา debt-to-equity ratio ของแต่ละกิจการ ไม่ได้พิจารณาข่าวการประชุมผู้ถือหุ้นเพื่อเลื่อนการชำระหนี้ (ซึ่งมีบ่งบอกถึงความเสี่ยงในการเพิ่มขึ้นในการชำระเงินคืนของลูกหนี้อย่างมีนัยสำคัญ) ไม่ได้พิจารณาผลกระทบของสงครามการค้าจีน-สหรัฐอเมริการที่อาจส่งผลกระทบต่อรายรับและค่า probability of default ของกิจการไทยในอุตสาหกรรมประมง ฯลฯ
5. ค่าพยากรณ์ปัจจัยทางเศรษฐกิจมหภาคที่ ThaiBMA เลือกใช้ได้แก่ การพยากรณ์ผลผลิตมวลรวมประชาชาติ (GDP forecast) ซึ่งอ้างอิงจากค่าพยากรณ์ของสำนักงานเศรษฐกิจการคลังและสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ทั้งนี้ หากมีการปรับค่าพยากรณ์ผลผลิตมวลรวมประชาชาติระหว่างปี ทาง ThaiBMA จะไม่ได้ทำการประมาณค่า probability of default ใหม่ โดยเบื้องต้นจะทำการคำนวณค่า probability of default ประมาณช่วงเดือนพฤษภาคมของทุกปี (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในการเผยแพร่)

6. ผู้ใช้งานไม่สามารถกำหนดค่าน้ำหนักของสภาวะเศรษฐกิจที่อาจเกิดขึ้นได้ในแต่ละ scenario โดยจะเป็นสมมติฐานที่กำหนดไว้โดย ThaiBMA

5. วิธีการประมาณค่าความสูญเสียของการผิดนัดชำระหนี้ (Loss Given Default)

5.1 LGD ของพันธบัตรรัฐบาลไทย (LGD for Sovereign Debt)

สมาคมตลาดตราสารหนี้ไทย ได้ประมาณค่า LGD ของพันธบัตรรัฐบาลไทยเป็นร้อยละ 0.00 เนื่องจากรัฐบาลไทยมีอำนาจในการจัดเก็บภาษีเพิ่มเติมเพื่อรองรับผลขาดทุนในการผิดนัดชำระหนี้ได้เต็มจำนวน

5.2 LGD ของหุ้นกู้เอกชนระยะยาว(LGD for long-term corporate debts)

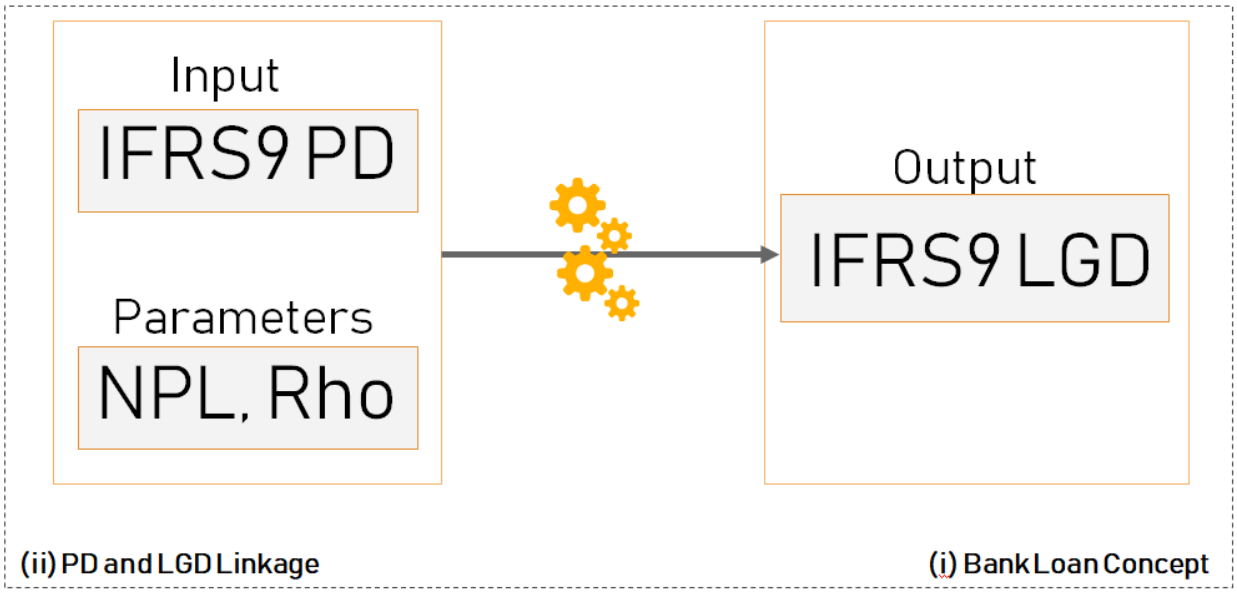
ค่า LGD ของหุ้นกู้เอกชนอ้างอิงวิธีการคำนวณมาจาก Frye (2013)[10] ซึ่งประมาณค่า LGD จากข้อมูล probability of default ของตราสารหนี้ และมีพารามิเตอร์ 2 ค่า ได้แก่ มูลค่า non-performing loan (NPL) และ asset correlation (Rho) (ดังแสดงในแผนภาพ 9) โดยมีพื้นฐานความเชื่อที่ว่าทั้งค่า PD และ LGD จะแปรผันตามเงื่อนไขหรือสาเหตุของความเสี่ยงเดียวกัน (common risk factors) ซึ่งการประยุกต์ใช้แบบจำลองตั้งอยู่บนหลักการสำคัญสองประการได้แก่

ประการแรก “PD and LGD Linkage Exists” โดยทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์กันผ่าน common risk factors

ประการที่สอง “Corporate Loan Concept” สินเชื่อธนาคารพาณิชย์และตราสารหนี้มีลักษณะเป็นสัญญากู้ยืมเงินเช่นเดียวกัน จึงอาจมีพฤติกรรมความเสี่ยงที่คล้ายคลึงกันและสามารถใช้ข้อมูล corporate bank loan (NPL) ประกอบสมมติฐานการคำนวณLGD ของตราสารหนี้

[10] Frye, Jon. "Loss given default as a function of the default rate." Federal Reserve Bank of Chicago (2013): 1-15.

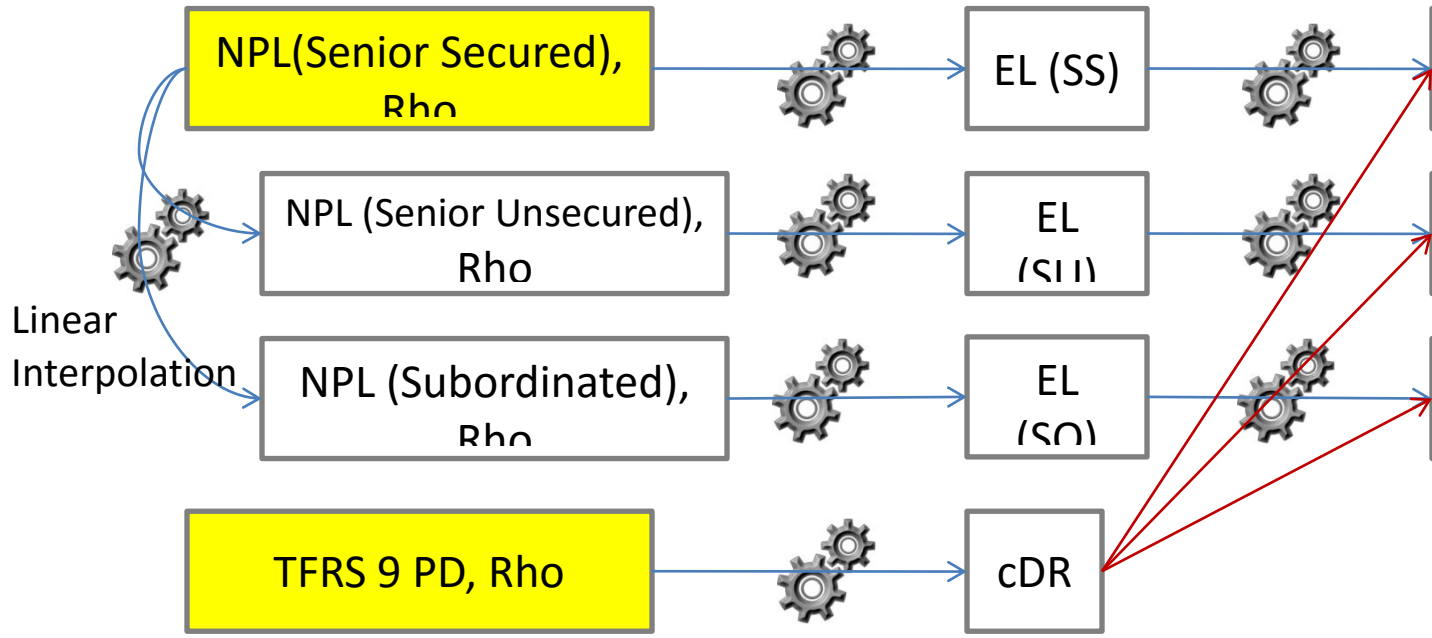
แผนภาพ 11 แนวคิดการประมาณค่า LGD สำหรับตราสารหนี้ไทย



หมายเหตุ: ดัดแปลงมาจากFrye (2013)

แผนภาพ 11 แสดงแนวคิดในการคำนวณค่า LGD โดยประมาณค่าConditional Loss (cLoss) และประมาณค่า Conditional Default Rate (cDR) ซึ่งเป็นคำนวณเป็นอิสระจากกัน และระบุค่า Conditional Loss Given Default (cLGD) โดย cLGD = cLoss/cDR สมมติฐานอีกประการหนึ่งที่สำคัญในการคำนวณค่า cLGD คือ การนำค่า NPL มาใช้ประมาณค่า EL โดยค่า NPL ที่เผยแพร่อยู่บนเว็บไซท์ธนาคารแห่งประเทศไทยมีเพียง NPL ที่เป็นค่ากลางสำหรับทุกประเภทสินเชื่อเพียงค่าเดียว ซึ่ง ThaiBMA ตั้งสมมติฐานให้เป็น NPL ดังกล่าวเป็น NPL ของ senior secured loan หากแต่แบบจำลองที่ใช้ต้องการข้อมูล NPL ของ senior unsecured loan และ subordinated loan ด้วย จึงมีความจำเป็นต้องแก้ปัญหาการขาดแคลนข้อมูล NPL จำแนกตาม claim priority ของสินเชื่อด้วยการประมาณค่า NPL สำหรับ senior unsecured loan และ NPL สำหรับ subordinated loan ขึ้นมา โดยใช้ค่า loan LGD ประกอบการประมาณค่าเชิงเส้นตรง ดังแสดงในแผนภาพ 12

แผนภาพ 12 แสดงแบบจำลองการคำนวณค่า LGD



หมายเหตุ: ดัดแปลงมาจาก Frye (2013)

การคำนวณค่า cLoss เริ่มจากการสมมติรูปแบบการกระจายตัวของ loss เป็น Vasicek Distribution (ซึ่งใช้ข้อมูล non-performing loan (NPL) เป็น proxy variable ของการกระจายตัว) ดังสมการ

$$cLoss = \Phi[\frac{\Phi^{-1}[EL]+\sqrt{\rho}\Phi^{-1}[q]}{\sqrt{1-\rho}}] \quad (9)$$

และการสมมติรูปแบบการกระจายตัวของ conditional default rate (cDR) เป็นการกระจายตัว Vasicek Distribution

$$cDR = \Phi[\frac{\Phi^{-1}[PD]+\sqrt{\rho}\Phi^{-1}[q]}{\sqrt{1-\rho}}] \quad (10)$$

หากนำค่า cLoss (สมการ(8))หารด้วยค่า cDR (สมการ(9)) จะได้ค่า cLGDดังสมการด้านล่าง

$$cLGD = \Phi[\Phi^{-1}[cDR] - k]/cDR \quad (11)$$

โดยที่

$$k = \frac{\Phi^{-1}[PD] - \Phi^{-1}[EL]}{\sqrt{1-\rho}} \quad (12)$$

โดยที่ cDR (ย่อมาจาก conditional default rate) คือค่า default rate ที่คำนวณตามสมมติฐานการกระจายตัว Vasicek distribution

$cLoss$ (ย่อมาจาก conditional loss) คือค่า expected credit loss ของ bank loan portfolio ที่คำนวณตามสมมติฐานการกระจายตัวของ Vasicek distribution

PD คือ ค่า Probability of Default ที่คำนวณโดย ThaiBMA

EL คือค่า expected loss ใช้ข้อมูล non-performing loan ของสินเชื่อธนาคารพาณิชย์เป็นตัวแปรแทนมูลค่า expected loss ของตราสารหนี้

k คือ LGD Risk Index

q คือ ค่าLGD quantile

ρ คือค่าสหสัมพันธ์ของมูลค่าสินทรัพย์ของบริษัทที่จดทะเบียนในประเทศไทย

Φ[*] คือ Normal cumulative distribution function (Normal CDF)

Φ^{-1}[*] คือ Inverse normal cumulative distribution function (Inverse Normal CDF)

ซึ่งหากแทนค่าตัวแปร cDR, EL และ k ในด้านขวามือของสมการ (10) และ (11) จะได้เป็นมูลค่า LGD ทางด้านซ้ายมือ

ทั้งนี้ สาเหตุที่เลือกใช้ Vasicek Distribution เนื่องจากเป็นรูปแบบการกระจายตัวทางบริษัท KMV Corporation โดย Oldrich Alfons Vasicek พัฒนาและเผยแพร่สู่สาธารณะในปี 1991 เพื่อทำการทำนายพฤติกรรมการผิดนัดชำระหนี้ของ bank loan portfolio โดยเฉพาะ ซึ่งอาจอนุมานได้ว่าพฤติกรรมการผิดนัดชำระหนี้ของ bank loan portfolio เองอาจมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับพฤติกรรมการผิดนัดชำระหนี้ของ fixed income portfolio จึงมีความหมายทางเศรษฐศาสตร์ที่สอดคล้องและสามารถอธิบายโดยเข้าใจได้ ทั้งนี้หากเปรียบเทียบกับทางเลือกในการใช้งาน Beta Distribution หรือ Gamma Distribution ที่แม้ว่าสามารถใช้ทำนายพฤติกรรมของ LGD ได้ แต่มีข้อเสียสำคัญคือขาดความหมายเชิงเศรษฐศาสตร์ของผลลัพธ์ LGD

นอกจากนี้ ยังมีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่น่าสนใจที่ว่าการเพิ่มขึ้นของค่าพารามิเตอร์ของ Vasicek distribution คือ asset correlation (ρ) จะทำให้ลักษณะการกระจายตัวของ conditional loss given default (cLGD) เบ้ขวา (skew to the right) มากขึ้นและค่า LGD ที่คำนวณได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอาจสะท้อนถึงค่า LGD ที่รวมการพิจารณา catastrophic default risk ที่เพิ่มสูงขึ้น ยกตัวอย่างในกรณีวิกฤติเศรษฐกิจปี 2540 ที่มีบริษัทผิดนัดชำระหนี้เป็นจำนวนมาก

5.3 ผลลัพธ์การประมาณค่า LGD หุ้นกู้เอกชนไทยระยะยาว

ผลลัพธ์ LGD ที่ประมาณค่าได้แบ่งตามความเสี่ยงในการได้รับเงินคืนในกรณีที่ตราสารหนี้ของตราสารหนี้ซึ่งระบุด้วยข้อมูล claim type และแบ่งเป็นค่า LGD ได้ 3 ประเภท ดังตาราง 13[11]

ตาราง 13 Loss Given Default for Thai Fixed Income Securities

Claim Type	Loss Given Default (%)
Senior Secured	37.1%
Senior Unsecured	52.3%
Subordinated	78.2%

ที่มา: author's calculation

ซึ่งหมายความว่า ในกรณีที่ผู้ใช้งานลงทุนในตราสารหนี้ที่เป็น senior debt และมีหลักทรัพย์ค้ำประกันจะประมาณค่า LGD ได้เป็น 0.4 เป็นต้น และหากนำไปทนค่าในสมการ (1) หรือ (2) ร่วมกับค่า probability of default จะได้ค่า expected credit loss เพื่อไปบันทึกมูลค่าทางบัญชีได้

5.4 ข้อจำกัดในการนำผลลัพธ์ Loss Given Default ไปใช้

ในการนำผลลัพธ์ Loss Given Default ไปใช้มีข้อจำกัดดังนี้

1. จุดประสงค์หลักของการคำนวณค่า Loss Given Default เพื่ออำนวยความสะดวกกับผู้ร่วมตลาดในการคำนวณมูลค่า expected credit loss โดยอาจนำไปใช้ประกอบสมมติฐานการคำนวณมูลค่าการกันสำรองการลงทุนในตราสารหนี้ตามมาตรฐานความเสี่ยงด้านอื่น ๆ ได้เช่นกันหากผู้ใช้งานตรวจอสบแล้วว่า

[11] ข้อมูล LGD ในตาราง 13 เป็นข้อมูลที่ใช้เฉพาะในปี 2562 ผู้ใช้งานควรอ้างอิงข้อมูลจากหน้าเว็บไซท์ http://www.thaibma.or.th/EN/Market/LossGiven.aspx ซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นทางการและเป็นข้อมูลล่าสุด

การคำนวณ Loss Given Default ด้วยวิธีของ ThaiBMA สอดคล้องกับมาตรฐานการบริหารความเสี่ยงนั้น ทั้งนี้ ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ให้ผู้ใช้งานนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปประกอบการคำนวณราคาตราสารหนี้ทุกกรณี

2. การประมาณค่าผลลัพธ์ Loss Given Default มีข้อจำกัดในการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในตลาดตราสารหนี้ไทย เนื่องจากไม่เคยมีรายการซื้อขายตราสารหนี้ที่ผิดนัดชำระหนี้ในตลาดรองมาก่อน หรือข้อมูลของกระบวนการขายทอดสินทรัพย์ของกิจการที่มีสถานะล้มละลายสามารถติดตามและค้นหาได้โดยลำบาก ผลลัพธ์ Loss Given Default ที่คำนวณได้จึงเป็นพียงการประมาณค่าด้วยแบบจำลองทางสถิติ และอาจมีการปรับปรุงวิธีการศึกษาค่า Loss Given Default ในอนาคตหากมีข้อมูลการซื้อขายจริงเกิดขึ้น
3. สมมติฐานทางสถิติสำคัญในการศึกษา Loss Given Default คือการกระจายตัวของค่า conditional default rate และ conditional loss อยู่ในรูปแบบ Vasicek Distribution ซึ่งรูปแบบการกระจายตัวดังกล่าวอาจไม่สอดคล้องกับภาวะตลาดตราสารหนี้ในบางกรณี (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน reference paper)
4. มูลค่า Loss Given Default ที่เกิดขึ้นจริงอาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ จุดประสงค์ของการเสนอขายหุ้นกู้ มูลค่ายุติธรรมที่สามารถขายหลักทรัพย์ค้ำประกันได้ สภาพคล่องในการขาย สภาพคล่องของหลักทรัพย์ค้ำประกัน ปริมาณหนี้สินต่อทรัพย์สินทั้งหมด ลำดับการได้รับการชำระเงินคืนของหนี้สิน เป็นต้น โดยในปัจจุบันยังไม่พบแบบจำลองทางสถิติใดที่ใช้ประมาณค่า Loss Given Default โดยพิจารณาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ทั้งหมด และแบบจำลองที่เลือกใช้ได้พิจารณา priority right และ probability of default เป็นปัจจัยหลักในการคำนวณ ผู้ใช้งานจึงอาจพิจารณาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับค่า Loss Given Default ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละกิจการร่วมด้วย
5. มูลค่า LGD อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี ขึ้นอยู่กับค่า parameter (asset correlation และ NPL) รวมถึงมูลค่า probability of default ที่คำนวณได้ในแต่ละปีด้วย

6. การเผยแพร่

ThaiBMA จะทำการเผยแพร่ค่า forward-looking CTM, forward-looking probability of default และ loss given default บนเว็บไซท์ http://www.thaibma.or.th มีการอัพเดทข้อมูลเป็นรายปีพร้อมกัน

(ปีละหนึ่งครั้ง) ในช่วงเดือนมิถุนายนซึ่งอาจเผยแพร่ช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับการได้รับข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ อย่างไรก็ดี ในการใช้งาน PD และ LGDอาจมีข้อจำกัดในเรื่องของแบบจำลองการประมาณค่า รวมทั้งสมมติฐานที่ทาง ThaiBMA ใช้ในการประมาณค่า โดย PD ที่ทาง ThaiBMA เผยแพร่นี้ เป็นเพียงการอำนวยความสะดวกในการเผยแพร่ข้อมูลให้กับผู้ร่วมตลาด ซึ่งผู้ใช้งานจำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลตามหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

ภาคผนวก กความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับ Credit Transition Matrix

Credit Transition Matrix (CTM) อาจมีชื่อเรียกอื่นว่า Transition Probability Matrix (TPM), Probability Models of Credit Risk, Rating Transition Matrix, Rating Migration Matrix, Credit Transition Probability เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับใช้บริหารความเสี่ยงในตราสารหนี้และเครื่องมือทางการเงินอื่นๆ มีลักษณะเป็นเทริกซ์ขนาด 8x8 ดังนี้

	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC/C	Default
AAA	89.82%	9.42%	0.55%	0.05%	0.08%	0.03%	0.05%	0.00%
AA	0.52%	90.64%	8.17%	0.51%	0.05%	0.06%	0.02%	0.02%
A	0.03%	1.77%	92.29%	5.40%	0.30%	0.13%	0.02%	0.06%
BBB	0.01%	0.10%	3.64%	91.61%	3.85%	0.49%	0.12%	0.18%
BB	0.01%	0.03%	0.12%	5.35%	85.80%	7.36%	0.61%	0.72%
B	0.00%	0.02%	0.09%	0.19%	5.63%	85.09%	5.05%	3.93%
CCC/C	0.00%	0.00%	0.13%	0.24%	0.70%	15.63%	51.49%	31.82%
Default	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

จากภาพด้านบนเป็นตัวอย่าง S&P Credit Transition Matrix ระยะ 1 ปี ซึ่งเป็นตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นที่อันดับเครดิต ณ ต้นปีจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นอันดับเครดิตที่ระบุ ณ ปลายปี ยกตัวอย่างเช่น ความน่าจะเป็นที่ ตราสารหนี้ที่ตราสาร หรือ กิจการได้รับการจัดอันดับความน่าเชื่อถือเป็น AAA ณ ต้นปี จะคงอันดับเครดิต AAA ไว้ได้ ณ ปลายปีเป็น 89.82% ในขณะที่ความน่าจะเป็นที่ตราสารหนี้ตราสารหนี้ที่ตราสาร หรือ กิจการได้รับการจัดอันดับเครดิตเป็น AAA ณ ต้นปีจะถูกปรับลดอันดับเครดิตณ ปลายปีเป็น AA เป็น 9.42% และความน่าจะเป็นที่ตราสารหนี้ที่ตราสาร หรือ กิจการได้รับการจัดอันเครดิต ณ ต้นปีเป็น AAA และผิดนัดชำระหนี้ภายในระยะเวลา 1 ปี เป็น 0.00% โดยที่คอลัมน์ที่ 8 จะเป็น probability of default ของแต่ละอันดับเครดิตและนำไปใช้ในการคำนวณมูลค่า expected credit loss (ECL)

ทั้งนี้ ผลลัพธ์การศึกษา Credit Transition Matrix สามารถประยุกต์ใช้กับการบริหารความเสี่ยงตราสารหนี้ได้ ดังนี้

1. ช่วยวัดความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงอันดับเครดิตจากความเสี่ยงเชิงคุณภาพให้เป็นความเสี่ยงเชิงปริมาณ (quantifiable risk)
2. ช่วยในการคาดการณ์คุณภาพเครดิตที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตสำหรับหลักทรัพย์รายตัวหรือพอร์ทฟอลิโอของหลักทรัพย์
3. ช่วยในการประเมินราคาของหลักทรัพย์ โดยคำนึงถึงความเสี่ยงที่อันดับเดรดิตจะถูกปรับลด
4. ช่วยประเมินค่าที่เหมาะสมของปริมาณ capital ที่ต้องดำรงไว้ตามกฎหมาย
5. ช่วยประเมินมูลค่าการกันสำรองของเงินลงทุน

ภาคผนวก ข การประยุกต์ใช้วิธีการของ Generator Matrix เพื่อคำนวณค่า Credit Transition Matrix ที่สอดคล้องกับทฤษฎีทางการเงินทุกประการ

ในการคำนวณให้ CTM วิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือวิธีของ Generator Matrix เนื่องจากกระบวนการของ Generator Matrix จะทำให้ได้ผลลัพธ์ซึ่งเป็น proper markov matrix ซึ่งการทำให้ CTM เป็น proper markov matrix จะมีคุณสมบัติที่พึงประสงค์และสอดคล้องกับคุณสมบัติของทฤษฎีเกี่ยวกับความน่าจะเป็นสองประการ[12] คือ

ประการแรก สมาชิกทุกตัวในเมทริกซ์ที่มีคุณสมบัติเป็น proper markov matrix จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

ประการที่สอง ผลรวมของสมาชิกในแถวนั้นจะมีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอ

โดยวิธีของ Generator Matrix จะทำการแปลง CTM ($\boldsymbol{P}$) ที่คำนวณได้เป็น Generator Matrix ($\boldsymbol{Q}$) ด้วยสูตร

$$\boldsymbol{Q} = Ln\{\boldsymbol{P}\} \tag{13}$$

ฟังก์ชัน $Ln\{\boldsymbol{P}\}$ สามารถประมาณค่าด้วยการกระจายตัวของเทยเลอร์ (Taylor's expansion) ซึ่งระบุโดย

$$Ln\{\boldsymbol{P}\} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}(\boldsymbol{P}-\boldsymbol{I})^n}{n} \tag{14}$$

$\boldsymbol{P}$ คือ CTM ที่ต้องการปรับปรุงให้มีคุณสมบัติ Proper Markov Matrix

$\boldsymbol{I}$ คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด 8x8

[12]Knill, Oliver. *Linear Algebra with Probability.*Harvard University, 2011, http://www.math.harvard.edu/~knill/teaching/math19b_2011/handouts/lecture33.pdf.

ผลลัพธ์ Generator Matrix ($\boldsymbol{Q}$) ที่คำนวณได้จากสมการ (13) และสมการ (14) แสดงในตาราง 14

ตาราง 14 Generator Matrix

-0.107671	0.104387	0.001351	0.000241	0.000908	0.000221	0.000723	-0.000160
0.005775	-0.100114	0.088252	0.004619	0.000494	0.000658	0.000270	0.000045
-0.000069	0.034495	-0.058160	0.022342	-0.000040	0.000072	0.000019	0.001341
0.000002	-0.000950	0.054177	-0.103377	0.029636	0.003138	-0.000206	0.017580
0.000082	0.000276	-0.001506	0.086455	-0.177197	0.056117	0.003663	0.032109
-0.000003	0.000237	0.000973	-0.000736	0.066684	-0.170903	0.075792	0.027957
0.000000	-0.000063	0.001632	0.003163	0.001997	0.235111	-0.674476	0.432635
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

ที่มา: author's calculation

และหากปรับปรุงให้ Generator Matrix ($\boldsymbol{Q}$) เป็น Exact Generator ($\boldsymbol{Q_{Exact}}$) จะสามารถแปลง $\boldsymbol{Q_{Exact}}$เป็นผลลัพธ์ $\boldsymbol{P}$ เป็นซึ่งมีคุณสมบัติ Proper Markov Matrix โดย $\boldsymbol{Q_{Exact}}$ จะต้องมีคุณสมบัติครบทั้ง 3 ประการ ดังนี้

$$\mathrm{q(i,j \neq i) = q(i,j \neq i)} \text{เมื่อ } \mathrm{q(i,j \neq i) \geq 0} \tag{15}$$

$$\mathrm{q(i,j \neq i) = 0} \text{ เมื่อ } \mathrm{q(i,j \neq i) \leq 0} \tag{16}$$

$$\mathrm{q(i,i) = -\sum_{j \neq i}^{8} q(i,j)} \tag{17}$$

โดยที่ $\mathrm{q(i,j)}$ เป็นสมาชิก ณ แถว i คอลัมน์ j ของ Generator Matrix ($\boldsymbol{Q}$)

ซึ่งหมายความว่า การปรับปรุง $\boldsymbol{Q}$ เป็น $\boldsymbol{Q_{Exact}}$ หากมีสมาชิกใดก็ตามในค่าของ Generator ($\boldsymbol{Q}$) มีค่าน้อยกว่าศูนย์ หรือ ผลรวมของสมาชิกนอกเส้นทแยงมุมในแถวเดียวกันไม่เท่ากับเครื่องหมายตรงข้ามของค่าในเส้นทแยงมุมของแถวนั้น จะไม่สามารถเรียก $\boldsymbol{Q}$ ว่าเป็น $\boldsymbol{Q_{Exact}}$และจะไม่สามารถนำค่า $\boldsymbol{Q}$ กลับไปคำนวณค่า

CTM ที่เป็น Proper Markov Matrix ได้ กระบวนการปรับปรุง CTM ด้วยวิธีการของ Generator จึงมีความสำคัญในการสร้าง CTM ที่สอดคล้องกับทฤษฎีทางการเงินอย่างเต็มที่

ตาราง 15 Exact GeneratorMatrix

-0.107751	0.104309	0.001350	0.000241	0.000908	0.000221	0.000722	0.000000
0.005775	-0.100114	0.088252	0.004619	0.000494	0.000658	0.000270	0.000045
0.000000	0.034463	-0.058214	0.022321	0.000000	0.000072	0.000019	0.001340
0.000002	0.000000	0.053876	-0.103951	0.029472	0.003120	0.000000	0.017482
0.000082	0.000275	0.000000	0.086090	-0.177947	0.055880	0.003648	0.031973
0.000000	0.000236	0.000971	0.000000	0.066540	-0.171272	0.075628	0.027897
0.000000	0.000000	0.001632	0.003163	0.001997	0.235100	-0.674507	0.432615
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

ที่มา: author's calculation

เมื่อคำนวณ Exact Generator ($\boldsymbol{Q_{Exact}}$) ซึ่งเป็นเมทริกซ์ขนาด 8x8 ได้แล้ว (ตาราง 15) จะต้องแปลง $\boldsymbol{Q_{Exact}}$ กลับเป็น $\boldsymbol{P}$ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ CTM สุดท้ายและจะได้ CTM ที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกับทฤษฎีทางการเงินทุกประการ ($\boldsymbol{P_{PMK,h}}$) ซึ่ง $\boldsymbol{Q_{Exact}}$ และ $\boldsymbol{P}$ จะมีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$\boldsymbol{P_{PMK,h}} = exp\{h\boldsymbol{Q_{Exact}}\} \tag{18}$$

$$exp(h\boldsymbol{Q_{Exact}}) = \sum_{k}^{\infty} \frac{(\boldsymbol{h}\mathbf{Q_{Exact}})^{\mathrm{k}}}{\mathrm{k!}} \tag{19}$$

โดยที่ $\boldsymbol{h}$ คือระยะเวลาของ period ที่ใช้พิจารณาความเสี่ยงด้านเครดิตและประมาณค่าฟังก์ชัน

$exp\{h\boldsymbol{Q_{Exact}}\}$ ด้วยการกระจายตัวของเทย์เลอร์ตามสมการด้านล่าง

$\boldsymbol{P_{PMK,h}}$ คือ CTM ที่ได้รับการปรับปรุงให้เป็น proper markov matrix และสอดคล้องกับทฤษฎีทางการเงินทุกประการ (ตาราง 5)

บรรณานุกรม

Frye, Jon. "Loss given default as a function of the default rate." Federal Reserve Bank of Chicago (2013): 1-15

IFRS Foundation.“IFRS 9 Financial Instruments.”Oct. 2017, eifrs.ifrs.org/eifrs/bnstandards/en/IFRS9.pdf. [Access date: Oct. 2019]

Khanthavit, Anya, 2011, Theory-Consistent Transition-Probability Matrix, Thammasat University, Bangkok (in Thai).

Knill, Oliver. *Linear Algebra with Probability.*Harvard University, 2011, http://www.math.harvard.edu/~knill/teaching/math19b_2011/handouts/lecture33.pdf.

Vanĕk, Tomáš, and David Hampel."The Probability of Default Under IFRS 9: Multi-period Estimation and Macroeconomic Forecast." *ActaUniversitatisAgriculturaeetSilviculturaeMendelianaeBrunensis* 65.2 (2017): 759-776.

เจริญกัลป์ วิระยา, และเจียรวัชระมงคล วันทนา. “มาตรฐานการรายงานทางการเงินที่สำคัญต่อธุรกิจประกันภัย เรื่อง...มาตรฐานการรายงานทางการเงิน เรื่อง เครื่องมือทางการเงิน ตอนที่ 1.” www.oic.or.th.

พรอุปถัมภ์ สมพงษ์.*เตรียมพร้อมรับมือ....การด้อยค่าของลูกหนี้ตาม TFRS 9*. บริษัท สอบบัญชี ธรรมนิติ, www.daa.co.th/en/news/audit-news/

สภาวิชาชีพบัญชี 2562 มาตรฐานการรายงานทางการเงินฉบับที่ 9 เครื่องมือทางการเงิน http://www.tfac.or.th/Article/Detail/78326 [เข้าถึงวันที่ 3ตุลาคม 2562]