การหามูลค่าของสัญญาออปชันมลภาวะทางอากาศด้วยวิธีแบบจำลองต้นไม้ทวินาม

PRICING AIR POLLUTION OPTIONS BASED ON BINOMIAL TREE MODEL

ธีรพร สุขวนาชัยกุล[1] สมพร ปั่นโภชา[2] และบำรุง พ่วงเกิด[3]

[1] สาขาวิศวกรรมการเงิน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, teeraphorn.suk@gmail.com

[2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, sompon_punpocha@yahoo.com

[3] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, bumroong.pu@kmitl.ac.th

---

บทคัดย่อ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยได้ประสบปัญหาทางด้านมลภาวะทางอากาศ หนึ่งในนั้นคือค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือ PM 2.5 ซึ่งส่งผลกระทบกับภาคธุรกิจในหลาย ๆ ด้าน เช่น การท่องเที่ยวและการบริการ เป็นต้น ในแต่ละปีค่าฝุ่นละอองนี้ส่งผลกระทบเป็นระยะเวลาหลายเดือน และทุก ๆ ปี มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับกิจการ อาจใช้เครื่องมือทางด้านการเงิน เช่น ตราสารอนุพันธ์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะใช้สัญญาออปชัน และทำการหามูลค่าของสัญญาออปชันมลภาวะทางอากาศ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการ Ornstein-Uhlenbeck ในการสร้างแบบจำลองค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ โดยทำการศึกษาค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศของจังหวัดกรุงเทพมหานคร ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2559 ถึง 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 เนื่องจากกรุงเทพมหานคร เป็นจังหวัดที่มีความสำคัญในเชิงธุรกิจและการท่องเที่ยว จากนั้นนำค่าที่ได้จากแบบจำลอง มาใช้ในการหามูลค่าของสัญญาออปชันมลภาวะทางอากาศ ด้วยวิธีแบบจำลองต้นไม้ทวินาม

จากการศึกษาพบว่ากระบวนการ Ornstein-Uhlenbeck นั้นมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับค่าจริง แต่ยังมีความคลาดเคลื่อนในส่วนของความผันผวนอยู่ ซึ่งเมื่อนำค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศที่ได้จากการเก็บรวบรวม และได้จากแบบจำลองมาทำการหามูลค่าของออปชันด้วยแบบจำลองต้นไม้ทวินาม ทั้งคอลออปชัน และพุทออปชัน จะเห็นได้ว่ามูลค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะกรณีของออปชันที่อายุสัญญา 6 เดือน

คำสำคัญ: Air Pollution Options, Binomial Tree Model, Ornstein-Uhlenbeck Simulation

ABSTRACT

In recent years, Thailand has experienced severe air pollution. This air pollution is known as PM2.5 air pollution and hazardous dust. PM2.5 means size of dust is smaller than 2.5 microns. This affects in Thai business in many sectors such as tourism and services, etc. Each year, this issue lasts for several months and the duration trends to increase every year. Therefore, it is in need of a solution to reduce the risk that may occur to mentioned businesses. Financial tools are used in this study case. Derivative product will mainly be the topic and describing the finding value of the local air pollution with option products.

The study focuses on the process of Ornstein-Uhlenbeck, and investigating the modeling of the air quality index in Bangkok and metropolitan region between 1 August 2016 – 29 February 2020. Bangkok is a crucial location in Thai business and tourism. The result values describe how to solve the Option Pricing of air pollution in option contracts by Binomial tree solution.

The study results from Ornstein-Uhlenbeck process gives a tend to the cost of the modeling value but there are some fluctuations, when the average air quality index from collection and the study's result from modeling by Binomial tree solution with call option and put option. The final result is not deviate from each other especially in case of 6 months option contact.

Keywords: Air Pollution Options, Binomial Tree Model, Ornstein-Uhlenbeck Simulation

1. บทนำ

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือ PM 2.5 เป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กมากเกินกว่าที่ร่างกายของคนเราจะสามารถกรอง เพื่อป้องกันการแพร่เข้าสู่ร่างกายในระบบต่าง ๆ ได้ ซึ่งฝุ่นละออง PM 2.5 เป็นเสมือนพาหะในการนำพาสารก่อมะเร็งต่าง ๆ เข้าสู่ร่างกาย เช่น ปรอท แคดเมียม และอื่น ๆ องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้มีการจัดให้ PM 2.5 เป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง จากรายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย โดยกรมมลพิษ ตั้งแต่เดือนสิงหาคมพ.ศ. 2559 – เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 ปัญหาฝุ่นละออง PM 2.5 มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น และยังคงมีค่าฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผลกระทบจากฝุ่นละออง PM 2.5 มีทั้งทางด้านผิวหนัง และระบบภายในร่างกาย ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ทำให้มีผู้ป่วยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ภาครัฐจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาผู้ป่วยที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี และส่งผลต่อภาคเศรษฐกิจ โดยเฉพาะกิจการที่จะเกิดการสูญเสียเพิ่มมากขึ้นหากเกิดผลกระทบจากมลภาวะทางอากาศ โดยเฉพาะธุรกิจการท่องเที่ยว และการบริการ

ค่าดัชนีคุณภาพอากาศแบบรายวัน ในแต่ละพื้นที่ สามารถคำนวณได้จากสมการเส้นตรง

$$I = \frac{I_j - I_i}{X_j - X_i}(X - X_i) + I_i$$

$I =$ ค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศ

$X =$ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากการตรวจวัด

$X_i, X_j =$ ค่าต่ำสุด และสูงสุดของช่วงความเข้มข้นสารมลพิษที่มีค่า X

$I_i, I_j =$ ค่าต่ำสุด และสูงสุดของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ตรงกับช่วงความเข้มข้น X จากค่าดัชนีย่อยที่คำนวณได้สารมลพิษทางอากาศประเภทใดที่มีค่าดัชนีสูงสุด จะใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ณ ช่วงเวลานั้น

ในปัจจุบันตราสารอนุพันธ์ ถือเป็นเครื่องมือทางการเงินชนิดหนึ่ง ที่ช่วยลดความเสี่ยงทางการเงินได้ และมีสินค้าอ้างอิงเป็นจำนวนมาก รวมถึงตราสารอนุพันธ์สภาพอากาศ ที่มีสินค้าอ้างอิงเป็นดัชนีชี้วัดสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิ, ปริมาณน้ำฝน และอื่น ๆ ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จะศึกษาการหามูลค่าของสัญญาซื้อขายล่วงหน้าที่ผู้ถือได้สิทธิในการซื้อ หรือการขายดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ หรือ Air Quality Index (AQI) options contract ในที่นี้จะเรียกสัญญาออปชัน โดยในการวิจัยที่ผ่านมาจะเกิดขึ้นในประเทศที่ได้รับผลกระทบจากมลภาวะดังกล่าวเป็นอย่างมาก เช่น ประเทศจีน ที่มีการศึกษารูปแบบจำลองของดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ ด้วยแบบจำลอง Ornstein-Uhlenbeck เนื่องจาก

เป็นแบบจำลองที่นิยมใช้ในการจำลองลักษณะของอุณหภูมิ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ และทำการหามูลค่าของสัญญาออปชันโดยขึ้นอยู่กับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ ด้วยวิธีแบบจำลองต้นไม้ทวินาม

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อศึกษารูปแบบจำลองของดัชนีคุณภาพอากาศ และสร้างแบบจำลองของดัชนีคุณภาพอากาศที่เหมาะสม
2) เพื่อศึกษาแบบจำลองของ Ornstein Uhlenbeck ในการจำลองดัชนีคุณภาพอากาศ
3) เพื่อศึกษาการหามูลค่าสัญญาออปชันมลภาวะทางอากาศ ด้วยวิธีแบบจำลองต้นไม้ทวินาม

3. การดำเนินการวิจัย

การหามูลค่าของสัญญาออปชัน เริ่มจากการใช้แบบจำลองของ Ornstein-Uhlenbeck ในการสร้างแบบจำลองค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศของจังหวัดกรุงเทพมหานคร เพื่อทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง และทำการหามูลค่าของสัญญาออปชันด้วยแบบจำลองต้นไม้ทวินามด้วยค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศที่เก็บรวบรวมได้จริง และที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น โดยมีขั้นตอน และรายละเอียดดังนี้

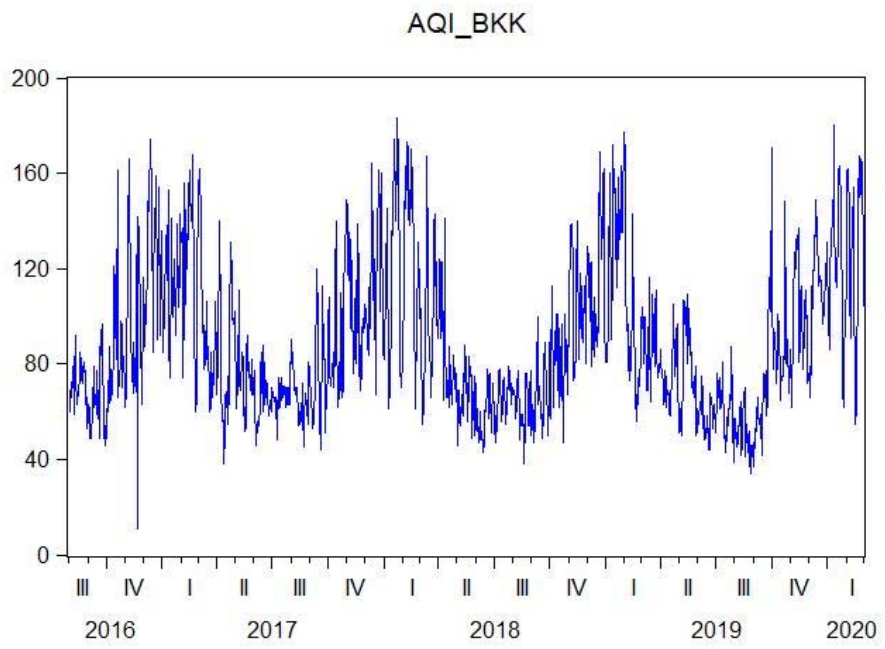
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศในจังหวัดกรุงเทพมหานครแบบรายวัน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 จำนวน 1,308 ข้อมูล จากกรมควบคุมมลพิษ และ The World Air Quality Project ซึ่งเป็นเว็บไซต์ที่รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับค่าดัชนีมลภาวะทางอากาศในแต่ละประเภททั่วโลก โดยแสดงข้อมูลย้อนหลังได้ถึง 40 เดือน

3.2 กระบวนการสร้างแบบจำลองดัชนีคุณภาพอากาศ

3.2.1 ทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

เมื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ลักษณะ ดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ โดยลักษณะของอยู่ในรูปของความแปรผันจากฤดูกาล (Seasonal Variations) และนอกจากนี้จะเห็นได้ว่าข้อมูลจะมีการวิ่งกลับเข้าสู่ค่าเฉลี่ย หรือมี Mean reversion



รูปที่ 1 ข้อมูลค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศจังหวัดกรุงเทพมหานครแบบรายวัน

และเมื่อทำการตรวจสอบความนิ่ง (Stationary) ของข้อมูล โดยการพิจารณาค่า Sample Autocorrelation Function (SAC) เพื่อใช้ระบุรูปแบบของแบบจำลองของ Box-Jenkins ซึ่งค่า SAC ณ k ช่วงเวลาที่แล้วสามารถเขียนแทนได้ด้วย r_k หมายถึง ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมเวลา Z ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน กับ k ช่วงเวลาที่แล้ว ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมาการ

$$r_k = \frac{\sum_{t=b}^{n-k}(Z_t - \overline{Z})(Z_{t+k} - \overline{Z})}{\sum_{t=b}^{n}(Z_t - \overline{Z})^2}$$

โดยที่ $\overline{Z} = \frac{\sum_{t=b}^{n} Z_t}{(n-b+1)}$ และ $n-b+1 =$ จำนวนข้อมูล

ซึ่งจากผลการทดสอบ ดังรูปที่ 2 จะเห็นว่าข้อมูลไม่มีความนิ่ง โดยหากตรวจสอบสมมติฐานดังนี้

$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = ... = \rho_m = 0$

$H_1 :$ มีค่าพารามิเตอร์อย่างน้อย 1 ตัวไม่เป็นศูนย์

เมื่อทำการพิจารณาค่า P-value เท่ากับศูนย์แล้ว จะทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน หรือกล่าวคืออนุกรมเวลามีความสัมพันธ์กับตัวมันเองในชั่วโมงที่แล้ว

Date: 05/03/20 Time: 16:37
Sample: 8/01/2016 2/29/2020
Included observations: 1308

Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	0.848	0.848	942.52	0.000
		2	0.714	-0.018	1611.1	0.000
		3	0.617	0.057	2110.8	0.000
		4	0.557	0.082	2517.7	0.000
		5	0.504	0.013	2851.3	0.000
		6	0.463	0.041	3133.6	0.000
		7	0.459	0.132	3410.9	0.000
		8	0.460	0.055	3690.0	0.000
		9	0.457	0.041	3965.9	0.000
		10	0.466	0.098	4252.7	0.000
		11	0.477	0.060	4553.0	0.000
		12	0.482	0.044	4860.3	0.000
		13	0.461	-0.027	5142.1	0.000
		14	0.454	0.072	5415.1	0.000
		15	0.452	0.040	5685.8	0.000
		16	0.457	0.062	5962.8	0.000
		17	0.451	0.010	6232.5	0.000
		18	0.457	0.074	6509.8	0.000
		19	0.468	0.047	6800.8	0.000
		20	0.464	-0.005	7086.7	0.000
		21	0.462	0.051	7370.9	0.000
		22	0.460	0.025	7653.2	0.000
		23	0.449	-0.017	7921.7	0.000
		24	0.439	0.032	8179.0	0.000
		25	0.426	0.006	8421.5	0.000
		26	0.410	-0.027	8646.1	0.000
		27	0.397	0.011	8856.5	0.000
		28	0.374	-0.045	9044.1	0.000
		29	0.363	0.016	9221.0	0.000
		30	0.378	0.075	9412.2	0.000
		31	0.397	0.034	9623.2	0.000
		32	0.409	0.017	9847.3	0.000
		33	0.401	-0.035	10063.	0.000
		34	0.395	0.007	10273.	0.000
		35	0.385	-0.012	10473.	0.000
		36	0.371	-0.006	10658.	0.000

รูปที่ 2 แสดงค่า Autocorrelation ของค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ

จึงใช้วิธีการหาผลต่าง หรือ Differencing เพื่อทำให้ข้อมูลมีความนิ่ง ดังสมการ

$$d1bkk = bkk_t - bkk_{t-1}$$

$d1bkk =$ ผลต่างลำดับที่หนึ่งของค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ ณเวลาที่ t

$bkk_t =$ ข้อมูลค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ ณ เวลาที่ t

$bkk_{t-1} =$ ข้อมูลค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ ณ เวลาที่ t-1

3.2.2 ประมาณค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

ในการประมาณค่าพารามิเตอร์จะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอย หรือ Regression Analysis เนื่องจากลักษณะกราฟข้อมูล จะเห็นว่ามีพฤติกรรมความผันผวนแบบสุ่ม (Random walk) และใช้ Stochastic process ในการศึกษา จากพฤติกรรมของค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ มีลักษณะคล้ายกับลักษณะข้อมูลของอุณหภูมิ จึงเลือกใช้แบบจำลองของ Ornstein – Uhlenbeck (O-U model) ในการพยากรณ์ค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ ได้ดังสมการ

$$dA(t) = ds(t) + k[A(t) - s(t)]dt + \sigma(t)dW(t)$$

$A(t) =$ ค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ ณ วันที่ t

$s(t) =$ ส่วนของค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

$k =$ อัตราความเร็วในการลู่เข้าสู่ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ

$\sigma(t) =$ ค่าความผันผวนรายวันของค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ

$dW(t) =$ กระบวนการ Wiener

เนื่องการข้อมูลเป็นแบบรายวันจะได้

$$\Delta A(t) = \Delta s(t) + k[A(t-1) - s(t-1)]\Delta t + \sigma(t)\Delta W(t)$$

โดยที่ $\Delta t = 1$

$\Delta D = D(t) - D(t-1)$

$\Delta s = s(t) - s(t-1)$

$\Delta W = W(t) - W(t-1)$

และ ΔW มีการการะจายตัวแบบปกติ หรือ $N(0,1)$

เมื่อทำการจัดรูปใหม่ โดยแทนความแปรปรวนสุ่ม ΔW เป็น $\varepsilon(t)$ จะได้

$$A(t) - s(t) = (1+k)[A(t-1) - s(t-1)] + \sigma(t)\varepsilon(t), t = 1,2,3,...$$

จากนั้นทำการลดรูปตามแบบจำลองของ Ornstein – Uhlenbeck จะได้

$$A_t = S_t + C_t + \sigma_t\varepsilon_t$$

$A_t =$ ค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ ณ วันที่ t

$S_t =$ ส่วนของค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา และเป็นค่าเฉลี่ยระยะยาว

$C_t =$ ระยะเวลาของค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ

$\sigma_t =$ ความผันผวนรายวันของค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ

$\varepsilon_t =$ ความแปรปรวนสุ่ม

จากแบบจำลองของ Ornstein – Uhlenbeck จะทำการประมาณค่า S_t, C_t และ σ_t

3.2.2.1 ประมาณค่า S_t ของแบบจำลอง Ornstein – Uhlenbeck

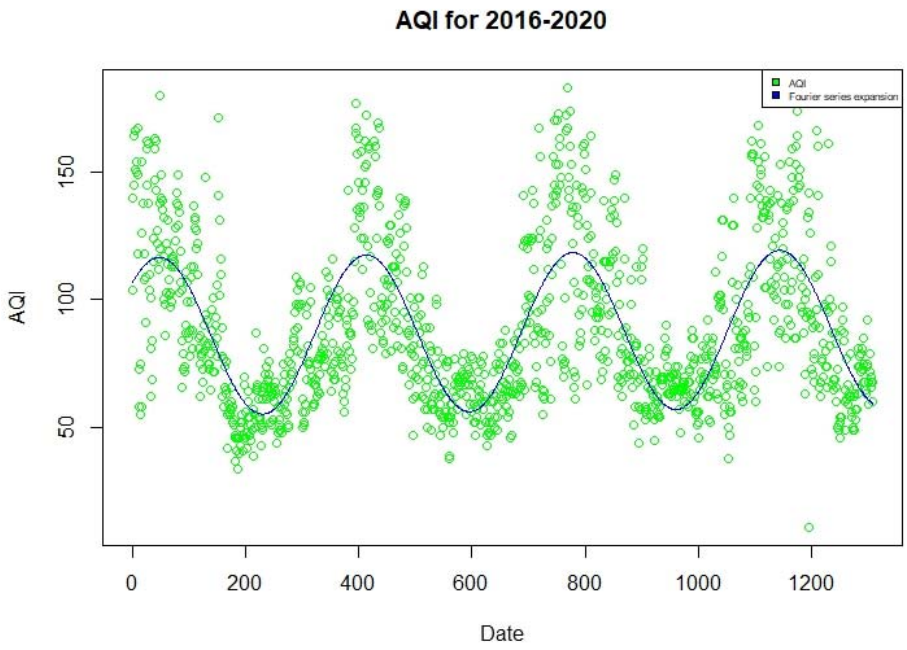
เนื่องจากข้อมูลอนุกรมเวลาของดัชนีค่าเฉลี่ยคุณภาพอากาศ มีลักษณะของแนวโน้ม และความผันผวนของฤดูกาล จะเห็นได้ว่ามีลักษณะเหมือนกับฟังก์ชันไซน์ (Sine function) จากสมการอนุกรมฟูเรียร์จะได้ดังสมการ

$$S_t = c_1 + bt + c_2 + \sum_{i=1}^{I_1} a_i \sin[2\pi it/365] + \sum_{j=1}^{J_1} b_j \cos[2\pi jt/365]$$

ในส่วนของแนวโน้มจะแทนด้วยพจน์ $c_1 + bt$ และในส่วนความผันผวนของฤดูกาลจะแทนด้วยพจน์ที่เหลือ จากนั้นทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยสมการถดถอย (regression) โดยกำหนดให้ $I_1 = J_1 = 1$ เนื่องจากในแต่ละปี (คาบ) จะมีลักษณะที่คล้ายกัน

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของ S_t

c_1	c_2	b	a_1	m_1	b_1	n_1
89.4201	87.2511	-0.001187	22.6399	0.399039	20.8612	1.171756



รูปที่ 3 แสดงลักษณะของข้อมูลเป็นรูป sine wave

3.2.2.2 ประมาณค่า C_t

ในการประมาณค่า C_t จะใช้โปรแกรม EViews ในการช่วยคำนวณค่า Autoregression (AR)

$$C_t = \sum_{p=q}^{p} \beta_p (A_{t-p} - S_{t-p}) = \sum_{p=1}^{p} \beta_p X_{t-p}$$

โดย X_t แทนการกำจัดแนวโน้มระยะยาว และผลกระทบจากความผันผวนของฤดูกาล และเมื่อทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ β จากค่า Auto-correlation หรือ SAC จากรูปที่ 5 จะมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วหลัง lag 3 ดังนั้นจึงเลือกใช้แบบจำลอง AR(3) ดังสมการ

$$X_t = \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \beta_3 X_{t-3} + \sigma_t \varepsilon_t$$

ซึ่งผลที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรม EViews จะได้ดังรูปที่ 4

Dependent Variable: D1BKK
Method: ARMA Conditional Least Squares (Gauss-Newton / Marquardt steps)
Date: 06/05/20 Time: 13:23
Sample (adjusted): 8/05/2016 2/29/2020
Included observations: 1304 after adjustments
Convergence achieved after 9 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	-0.087281	0.027502	-3.173633	0.0015
AR(2)	-0.136453	0.027341	-4.990841	0.0000
AR(3)	-0.141040	0.027512	-5.126574	0.0000

R-squared	0.039069	Mean dependent var	0.026074
Adjusted R-squared	0.037592	S.D. dependent var	17.41448
S.E. of regression	17.08402	Akaike info criterion	8.516463
Sum squared resid	379714.9	Schwarz criterion	8.528364
Log likelihood	-5549.734	Hannan-Quinn criter.	8.520927
Durbin-Watson stat	2.013749		

Inverted AR Roots	.19+.52i	.19-.52i	-.46

รูปที่ 4 แสดงการประมาณค่าพารามิเตอร์ของ X_t ด้วยโปรแกรม EViews

ดังนั้นจะได้

$$X_t = -0.087281X_{t-1} - 0.136453X_{t-2} - 0.1410X_{t-3} + \sigma_t\varepsilon_t$$

3.2.2.3 ประมาณค่า σ_t

จากการประมาณค่าแบบจำลอง AR(3) จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองมีความผันผวนที่สูง และมีลักษณะของฟังก์ชันไซน์อยู่ ดังนั้นลักษณะของค่า residual หรือ σ_t สามารถหาได้จากค่า σ_t^2 โดยอธิบายได้ดังสมการ

$$\sigma_t^2 = c + \sum_{i=1}^{I_1} c_i \sin[2\pi it/365] + \sum_{j=1}^{J_1} d_j \cos[2\pi jt/365]$$

โดยกำหนดให้ $I_1 = J_1 = 1$และใช้โปรแกรม EViews ในการประมาณค่าได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ σ_t^2

c	c_1	d_1
276.5506	200.4246	111.4493

3.3 รูปแบบสัญญาออปชันมลภาวะทางอากาศ

ค่า ADI เป็นตัววัดค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนของค่าดัชนี AQI ซึ่งกำหนดได้ดังสมการ

$$ADI = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{C_A - D_i}{C_A}(i = 1, 2, ..., n)$$

$D_i =$ จำนวนวันในแต่ละเดือน

$C_A =$ ค่าขอบบนของค่า AQI แต่ละช่วง

และ

$$C_A = \begin{cases} 25, 0 \le AQI_i \le 25 \\ 50, 26 \le AQI_i \le 50 \\ 100, 51 \le AQI_i \le 100 \\ 200, 101 \le AQI_i \le 200 \\ 300, 201 \le AQI_i \le 300 \end{cases}$$

การศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ได้ทำการเลือกใช้ค่า AQI จากจังหวัดกรุงเทพมหานคร ช่วงปีพ.ศ. 2559 – 2563 เนื่องจากจังหวัดกรุงเทพมหานครถือได้ว่าเป็นเมืองเศรษฐกิจ และการท่องเที่ยว เพราะในกรุงเทพมหานครประกอบไปด้วยบริษัท และโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก อีกทั้งในแต่ละปีมีนักท่องเที่ยวเข้ามาเป็นจำนวนมาก และในทุก ๆ ปี จังหวัดกรุงเทพมหานครจะมีความผันผวนของค่า AQI โดยในช่วงเดือนตุลาคม ถึง เดือนมีนาคมของทุก ๆ ปี จะมีค่า AQI ที่ค่อนข้างสูง

ในการกำหนดรูปแบบสัญญาออปชันเนื่องจากค่า AQI มีความผันผวนที่ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ ดังนั้นในการกำหนดราคาเริ่มต้นจะไม่กำหนดให้มีค่าสูงมากเกินไป รวมถึงตัวคูณด้วยเช่นกัน ดังตารางที่ 3

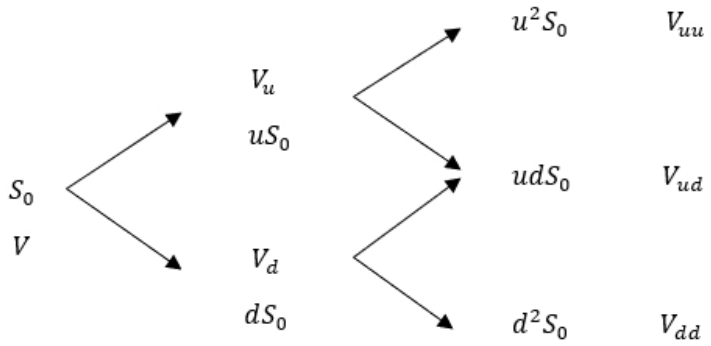
ตารางที่ 3 รูปแบบสัญญาออปชันมลภาวะทางอากาศ

ชื่อสัญญา	สัญญาซื้อขายล่วงหน้ามลภาวะทางอากาศ
สินค้าอ้างอิง	ดัชนี ADI
สถานที่สินค้าอ้างอิง	กรุงเทพมหานคร
ประเภทของสัญญา	คอลออปชัน, พุทออปชัน
วิธีการใช้สิทธิ	รูปแบบยูโรเปี่ยนออปชัน ; สามารถใช้สิทธิได้ก่อนเวลา 15:30 น. ณ วันหมดอายุ
อายุสัญญา	1, 3, 6 (เดือน)

ชื่อสัญญา	สัญญาซื้อขายล่วงหน้ามลภาวะทางอากาศ
วิธีการส่งมอบ / ชำระราคา	ชำระราคาเป็นเงินสด
เวลาซื้อขาย	วันทำการ ตั้งแต่เวลา 09.00 – 11.30, 13.30 – 15.30 และเวลาที่สามารถซื้อขายได้ของแต่ละตลาด
วันหมดอายุ	5 วันก่อนวันทำการสุดท้ายของเดือนที่สัญญาหมดอายุ
ราคาซื้อขายขั้นต่ำ	10 US$
ตัวคูณดัชนี	10 US$ ต่อ 1 จุด
วันที่มีผล	วันสิ้นสุดสัญญา
วันปิดทำการ	วันถัดจากวันทำการซื้อขายวันสุดท้าย

3.4 การหามูลค่าสัญญาออปชันมลภาวะทางอากาศ

แบบจำลองต้นไม้ทวินามเป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Cox, Ross และ Runbinstien แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองรูปแบบหนึ่งที่ง่าย และนิยมใช้ในการหามูลค่าของออปชัน โดยการสร้างแบบจำลอง จะแบ่งเป็น 2 เส้นทาง คือราคาที่เพิ่มขึ้น และราคาที่ลดลงของราคาหุ้นที่อ้างอิงตลอดช่วงอายุสัญญาออปชัน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบจำลองต้นไม้ทวินามในการหามูลค่าออปชัน

โดยรูปของสูตรทั่วไปกำหนดได้ดังนี้

S_0 = ราคาตลาดของสินค้าอ้างอิง

S_u = ราคาตลาดที่เพิ่มขึ้น

S_d = ราคาตลาดที่ลดลง

V_u = ราคาออปชันเมื่อความน่าจะเป็นของราคาตลาดเพิ่มขึ้น (p)

V_d = ราคาออปชันเมื่อความน่าจะเป็นของราคาตลาดลดลง (1-p)

หมายเหตุ กรณี Call options $V_u = \max(uS_0 - X, 0)$

$V_d = \max(dS_0 - X, 0)$

กรณี Put options $V_u = \max(X - uS_0, 0)$

$V_d = \max(X - dS_0, 0)$

หากกำหนดให้พอร์ตการลงทุนนี้สามารถซื้อหุ้นอ้างอิงได้จำนวน Δ หุ้น และขายออปชันจำนวน 1 ออปชัน ถ้าราคาหุ้นเพิ่มขึ้น มูลค่าพอร์ตลงทุนจะเท่ากับ

$$uS_0\Delta - V_u$$

และถ้าราคาหุ้นอ้างอิงลดลง มูลค่าพอร์ตลงทุนจะเท่ากับ

$$dS_0\Delta - V_d$$

หากเราต้องการสร้างพอร์ตลงทุนที่ปราศจากความเสี่ยง ดังนั้น ผลตอบแทนของพอร์ตลงทุนทั้ง 2 กรณี จะมีค่าเท่ากันเมื่อถึงวันครบกำหนด

$$uS_0\Delta - V_u = dS_0\Delta - V_d$$

ดังนั้นหากทำการจัดรูปใหม่ จะได้ $\Delta = \dfrac{V_u - V_d}{uS_0 - dS_0}$

กำหนดให้ r แทน อัตราดอกเบี้ยที่ปราศจากความเสี่ยง

T แทน อายุคงเหลือของสัญญาออปชัน

มูลค่าปัจจุบันในการสร้างพอร์ตการลงทุน คือ $(uS_0\Delta - V_u)e^{-rT}$

ต้นทุนในการสร้างพอร์ตการลงทุน คือ $S_0\Delta - V$

ดังนั้น $S_0\Delta - V = (uS_0\Delta - V_u)e^{-rT}$ เมื่อทำการจัดรูปใหม่จะได้

$$V = S_0\Delta(1 - ue^{-rT}) + V_u e^{-rT}$$

จากนั้นทำการแทนค่า $\Delta = \dfrac{V_u - V_d}{uS_0 - dS_0}$ ในสมการ $V = S_0\Delta(1 - ue^{-rT}) + V_u e^{-rT}$ และทำการจัดรูปจะได้

$$V = e^{-rT}[pV_u + (1-p)V_d]$$

เมื่อ $p = \dfrac{e^{rT} - d}{u - d}$

โดยสมการดังกล่าวเป็นการคำนวณมูลค่าออปชันด้วยแบบจำลองต้นไม้ทวินาม 1 คาบ ในที่นี้จะทำการศึกษา และคำนวณหามูลค่าออปชันด้วยแบบจำลองต้นไม้ทวินาม 2 คาบ ซึ่งมีสูตรในรูปทั่วไปเพิ่มเติมดังนี้ เมื่อกำหนดให้ ΔT คือ ระยะเวลาในแต่ละคาบ

$$V_u = e^{-r\Delta T}[pV_{uu} + (1-p)V_{ud}]$$

$$V_d = e^{-r\Delta T}[pV_{ud} + (1-p)V_{dd}]$$

$$V = e^{-2r\Delta T}[p^2V_{uu} + 2p(1-p)V_{ud} + (1-p)^2V_{dd}]$$

และเมื่อเราสร้างแผงผังต้นไม้ทวินามเพื่อแสดงการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของราคาอ้างอิง โดยกำหนดค่า u และ d เพื่อให้เหมาะสมกับความผันผวนของราคาหุ้นอ้างอิงได้ดังนี้

เมื่อราคาที่คาดหวังของหุ้นเมื่อครบกำหนดช่วงเวลา Δt คือ $S_0 e^{\mu \Delta t}$
และราคาที่คาดหวังของหุ้นขณะนี้มีค่าเท่ากับ $p^* u S_0 + (1-p^*) d S_0$
ดังนั้น

$$p^* u S_0 + (1+p^*) d S_0 = S_0 e^{\mu \Delta t}$$

จะได้ว่า

$$p^* = \frac{e^{\mu \Delta t} - d}{u - d}$$

กำหนดให้ σ แทนความผันผวนของสินค้าอ้างอิง จะได้ $\sigma\sqrt{\Delta t}$ เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลตอบแทนในช่วง Δt และ $\sigma^2 \Delta t$ เป็นความแปรปรวนของผลตอบแทน
ดังนั้น

$$p^* u^2 + (1-p^*) d^2 - [p^* u + (1-p^*) d]^2 = \sigma^2 \Delta t$$

ทำการจัดรูปให้อยู่ในรูปของ u และ d จะได้ว่า

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$$
$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

การหามูลค่าสัญญาออปชันมลภาวะทางอากาศ โดยมูลค่าของสัญญาจะขึ้นอยู่กับค่าดัชนีคุณภาพอากาศซึ่งผู้ศึกษาได้อ้างอิงตามงานวิจัยของต่างประเทศ ด้วยการคูณค่าดัชนีคุณภาพอากาศเข้ากับราคาตลาดตั้งต้น โดยสมมติให้ความเสี่ยงจากราคาตลาดของค่า AQI เท่ากับ 0 ดังนั้นราคาซื้อขายในตลาด ดังสมการ

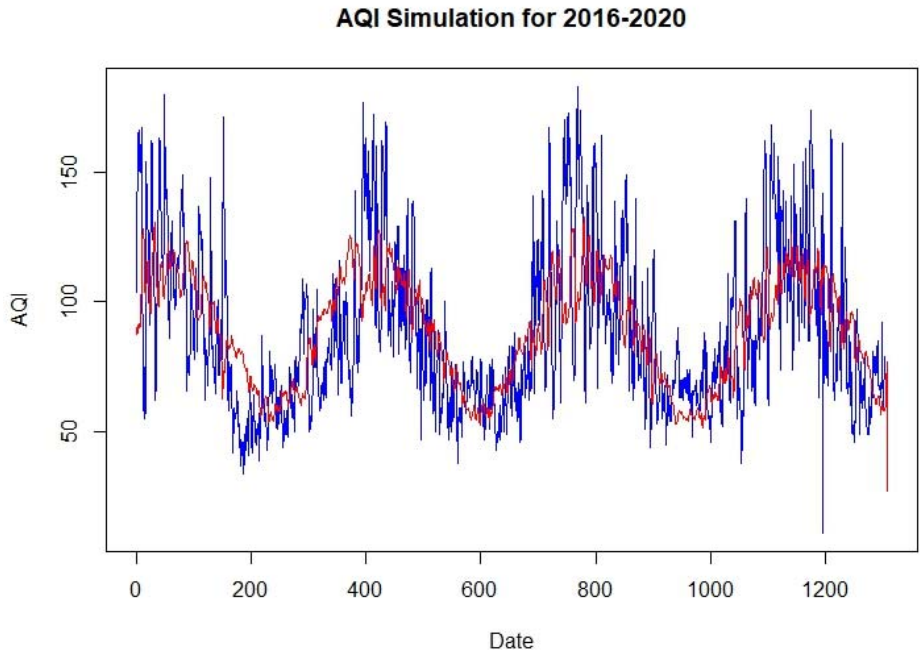
$$S_0(1+ADI)$$

จากนั้นทำการหามูลค่าออปชันด้วยแบบจำลองต้นไม้ทวินาม ด้วยโปรแกรม RStudio โดยที่กำหนดระยะเวลาของสัญญาในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 และกำหนดระยะเวลาของสัญญา (T) เป็น 1, 3 และ 6 เดือน โดยที่รูปแบบของสัญญาจะไม่มีการจ่ายเงินปันผลในระหว่างสัญญา ราคาตลาดที่ใช้ในการซื้อขาย (S_0) เท่ากับ 60 ราคาใช้สิทธิ (X) เท่ากับ 50 อัตราดอกเบี้ยปราศจากความเสี่ยง (r) เท่ากับ 0.35 และค่าความผันผวน เท่ากับ 0.4 เนื่องจากค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศมีความผันผวนที่ค่อนข้างสูง จึงกำหนดราคาตลาดที่ใช้ในการซื้อขายไม่สูงมากนัก

4. ผลการวิจัย

4.1 การจำลองข้อมูลค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ

ในการจำลองค่า ในการจำลองค่า AQI ด้วยแบบจำลองของ Ornstein-Uhlenbeck จะได้ผลดังภาพที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ได้นั้นมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับความเป็นจริง แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนของความผันผวนอยู่



รูปที่ 6 แสดงค่า AQI ที่ได้จากแบบจำลอง Ornstein-Uhlenbeck

4.2 ผลการหามูลค่าออปชันจากค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ

ในการคำนวณมูลค่าออปชันด้วยวิธีแบบจำลองต้นไม้ทวินามทั้งในกรณีพุทออปชัน และคอลออปชัน ด้วยค่า AQI ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจริง และค่าที่ได้จากการประมาณค่าด้วยแบบจำลองของ Ornstein-Uhlenbeck และแบ่งขั้นการคำนวณ (N) เป็น 5, 10, 20, 50 และ 100 ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม R ได้ผลดังตารางที่ 4 – 7 จากผลการหามูลค่าออปชันด้วยแบบจำลองต้นไม้ทวินาม เมื่อทำการแบ่งขั้นในการคำนวณจำนวนมากขึ้น มูลค่าออปชันที่ได้จะมีค่าลู่เข้าสู่ค่าหนึ่ง

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณหามูลค่าของคอลออปชันจากค่า AQI ที่เก็บรวบรวมได้

T	N=5	N=10	N=20	N=50	N=100
T=1	13.17905	13.16788	13.1748	13.17787	13.17776
T=3	15.19595	15.16035	15.12206	15.13414	15.1297
T=6	18.95052	18.90027	18.98132	18.9651	18.96179

จากตารางที่ 4 ผลการหามูลค่าของคอลออปชันที่ได้จากค่า AQI ที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลมา สำหรับสัญญาที่มีอายุสัญญา 1 เดือน มูลค่าของสัญญาจะอยู่ในช่วง [13.167, 13.179] อายุสัญญา 3 เดือน มูลค่าของสัญญาจะอยู่ในช่วง [15.122, 15.195] และอายุสัญญา 6 เดือน มูลค่าสัญญาจะอยู่ในช่วง [18.900, 18.981] เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอายุของสัญญา จะเห็นได้ว่ามูลค่าของสัญญามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริง

จากตารางที่ 5 ผลการหามูลค่าของพุทออปชันที่ได้จากค่า AQI ที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลมา สำหรับสัญญาที่มีอายุสัญญา 1 เดือน มูลค่าของสัญญาจะอยู่ในช่วง [0.027, 0.038] อายุสัญญา 3 เดือน มูลค่าของสัญญาจะอยู่

ในช่วง [0.380, 0.454] และอายุสัญญา 6 เดือน มูลค่าสัญญาจะอยู่ในช่วง [0.611, 0.692] เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอายุของสัญญา และจะเห็นได้ว่ามูลค่าของสัญญามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณหามูลค่าของพุทออปชันจากค่า AQI ที่เก็บรวบรวมได้

T	N=5	N=10	N=20	N=50	N=100
T=1	0.03883051	0.02765405	0.03457333	0.03765243	0.03753825
T=3	0.4541403	0.4185371	0.3802514	0.3923306	0.3878953
T=6	0.6616352	0.6113807	0.692427	0.6762111	0.6729063

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า AQI ที่ได้จากแบบจำลอง จากตารางที่ 6 ทำการหามูลค่าของสัญญาคอลออปชัน สำหรับสัญญาที่มีอายุสัญญา 1 เดือน มูลค่าของสัญญาจะอยู่ในช่วง [12.876, 12.883] อายุสัญญา 3 เดือน มูลค่าของสัญญาจะอยู่ในช่วง [15.031, 15.107] และอายุสัญญา 6 เดือน มูลค่าสัญญาจะอยู่ในช่วง [18.854, 18.937] และจากตารางที่ 7 ทำการหามูลค่าของสัญญาพุทออปชัน สำหรับสัญญาที่มีอายุสัญญา 1 เดือน มูลค่าของสัญญาจะอยู่ในช่วง [0.036, 0.043] อายุสัญญา 3 เดือน มูลค่าของสัญญาจะอยู่ในช่วง [0.384, 0.461] และอายุสัญญา 6 เดือน มูลค่าสัญญาจะอยู่ในช่วง [0.613, 0.696]

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณหามูลค่าของคอลออปชันจากค่า AQI ที่ได้จากแบบจำลอง

T=1	N=5	N=10	N=20	N=50	N=100
T=1	12.88359	12.87636	12.87767	12.88262	12.88186
T=3	15.10735	15.07116	15.03107	15.04457	15.04129
T=6	18.90488	18.85447	18.93709	18.92068	18.91743

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณหามูลค่าของพุทออปชันจากค่า AQI ที่ได้จากแบบจำลอง

T	N=5	N=10	N=20	N=50	N=100
T=1	0.04336645	0.03613781	0.0374501	0.0423972	0.04163326
T=3	0.4611407	0.4249601	0.3848668	0.3983633	0.3950867
T=6	0.6637923	0.6133843	0.696007	0.6795921	0.6763472

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการหามูลค่าออปชันจากค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศที่เก็บรวบรวมได้จริง และจากค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศที่ได้จากแบบจำลอง ทั้งในกรณีของคอลออปชันดังตารางที่ 8 และพุทออปชันดังตารางที่ 9 จากผลการเปรียบเทียบ จะเห็นได้ว่ามูลค่าของออปชันที่ได้จากแบบจำลองนั้นใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออายุของสัญญามีระยะเวลาที่นานขึ้น จะเห็นได้จากที่ T = 1 ในกรณีของคอลออปชัน มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.245 % และพุทออปชัน มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -10.909 % ที่ T = 3 ในกรณีของคอลออปชัน มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.5843 % และพุทออปชัน มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -1.854 % และ ที่ T = 6 ในกรณีของคอลออปชัน มี

ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.2339 % และพุทออปชัน มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.5807 % โดยในกรณีของคอลออปชันในแต่ละช่วงอายุของสัญญาจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากกว่ากรณีของพุทออปชัน

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบมูลค่าคอลออปชัน

ชนิด	ราคาตลาด (S_0)	คอลออปชัน		
		T=1	T=3	T=6
ราคาที่ได้จากค่า AQI ที่เก็บรวบรวมได้จริง	60	13.17776	15.1297	18.96179
ราคาที่ได้จากค่า AQI ที่ได้จากแบบจำลอง Ornstein-Uhlenbeck	60	12.88186	15.04129	18.91743
ค่าความคลาดเคลื่อน	-	2.245%	0.5843%	0.2339%

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบมูลค่าพุทออปชัน

ชนิด	ราคาตลาด (S_0)	พุทออปชัน		
		T=1	T=3	T=6
ราคาที่ได้จากค่า AQI ที่เก็บรวบรวมได้จริง	60	0.03753825	0.3878953	0.6729063
ราคาที่ได้จากค่า AQI ที่ได้จากแบบจำลอง Ornstein-Uhlenbeck	60	0.04163326	0.3950867	0.6763472
ค่าความคลาดเคลื่อน	-	-10.909%	-1.854%	0.5087%

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาลักษณะของค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศที่ผ่านมาในอดีต จะเห็นได้ว่าในแต่ละปีค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศมีความแปรปรวนเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในช่วงเดือนตุลาคม จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ เนื่องจากอิทธิพลของความกดอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาดังกล่าว ที่ให้เกิดการสะสมของค่าฝุ่นละอองอยู่ในบริเวณพื้นที่ต่าง ๆ รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองขึ้น เช่น การก่อสร้าง การขนส่ง และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งค่าฝุ่นละอองนี้ได้ส่งผลกระทบกับธุรกิจ ไม่ว่าจะเป็นการท่องเที่ยว การขนส่ง และการบริการ ดังนั้นเพื่อบรรเทาผลกระทบที่มีต่อกิจการ และอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาจเลือกใช้เครื่องมือทางการเงินมาช่วยในการป้องกันความเสี่ยง โดยในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาสัญญาออปชันมลภาวะทางอากาศ ซึ่งอ้างอิงกับค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI)

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหามูลค่าของออปชันมลภาวะทางอากาศ และศึกษาแบบจำลองของ Ornstein-Uhlenbeck ในการจำลองค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศ โดยผู้วิจัยได้เลือกวิธีการแบบจำลองต้นไม้ทวินามในการหามูลค่าของสัญญาออปชันที่มีสินค้าอ้างอิงเป็นดัชนีคุณภาพอากาศ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศแบบรายวันตั้งแต่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2559 ถึง 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 จากกรมควบคุมมลพิษ เมื่อนำ

ข้อมูลมาทำการวิเคราะห์จะพบว่าข้อมูลมีรูปแบบของแนวโน้ม และฤดูกาล รวมถึงมีความไม่นิ่งของข้อมูลอยู่ด้วย จึงทำการกำจัดความไม่นิ่งของข้อมูลออกด้วยวิธีการของผลต่าง จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศด้วยกระบวนการของ Ornstein-Uhlenbeck เนื่องจากข้อมูลมีแนวโน้มที่จะกลับเข้าสู่ค่าเฉลี่ย หรือ mean reverting

ผลจากการสร้างแบบจำลองค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศด้วยกระบวนการของ Ornstein-Uhlenbeck จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ได้มีแนวโน้มที่สอดคล้องไปกับค่าความเป็นจริง แต่ในความเป็นจริงค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศจะมีความผันผวนที่มากกว่าแบบจำลอง จากนั้นทำการหามูลค่าของออปชันด้วยวิธีแบบจำลองต้นไม้ทวินาม เมื่อทำการแบ่งขั้นมากขึ้น มูลค่าของออปชันที่ได้จะมีค่าลู่เข้าค่าหนึ่ง และเมื่อทำการเปรียบเทียบมูลค่าออปชันที่ได้จากค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศจริง และจากแบบจำลองนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะมูลค่าของสัญญาที่มีอายุสัญญามากขึ้น

การศึกษาในครั้งนี้ การสร้างแบบจำลองค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศด้วยกระบวนการ Ornstein-Uhlenbeck นั้นยังไม่เหมาะสมที่สุดในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งต่างกับการสร้างแบบจำลองของอุณหภูมิ เนื่องจากค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพอากาศมีความผันผวนที่มากกว่าอุณหภูมิ ในการศึกษาครั้งต่อไป ผู้วิจัยเห็นว่าควรใช้แบบจำลองอื่นทำการสร้างแบบจำลองของดัชนีคุณภาพอากาศ เพื่อให้มีความที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น และควรใช้วิธีการหามูลค่าออปชันแบบอื่น เช่น Monte Carlo Simulation เป็นต้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบ และเพื่อหาความเหมาะสมที่สุดของวิธีการหามูลค่าออปชัน

นอกจากนี้อาจใช้สินค้าอ้างอิงอื่นในการศึกษา เช่น สินค้าทางการเกษตร ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำการเกษตรเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังมีการส่งออกสินค้าทางเกษตรเกษตรเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศ รวมถึงประเทศไทยเองเป็นประเทศที่มีพื้นที่อยู่ในบริเวณใกล้แถบเส้นศูนย์สูตร หรือเป็นเขตร้อนชื้น ซึ่งมีปริมาณฝนตกต่อปีในปริมาณที่มาก ซึ่งปริมาณฝนที่ตกนี้ส่งผลกระทบต่อการดำเนินกิจการในหลายๆ ด้าน

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย ศิริจันทร์พันธุ์, สมพร ปั่นโภชา และ บำรุง พ่วงเกิด. (2561). *การหามูลค่าของตราสารอนุพันธ์สภาพอากาศ (Weather Derivatives) ด้วยวิธีการของ Monte Carlo Simulation* (งานวิจัย). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

ชินวรณ์ ศรีมูล, ณัฐญา แหยมใส, เบญจวรรณ ศรีอ่ำ และวัฒนา แย้มกลิ่น. (2559). *การเปรียบเทียบมูลค่าออปชันสำหรับออปชันดัชนี SET50 และ SET100* (งานวิจัย). ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

Christian Thierfelder. (2015). *The trending Ornstein-Uhlenbeck Process and its Applications in Mathematical Finance* (Thesis). University of Oxford.

Jian Xue, Yan Xu and Laijun Zhao. (2018). *Air pollution option pricing model based on AQI* (Research Journal), China : Shaanxi University of Science & Technology.

Zhiliang Wang, Peng Li, Lingyong Li, Chunyan Huang and Min Liu. (2014*). Modeling and Forecasting Average Temperature for Weather Derivative Pricing* (Research Journal). China : University of Water Resource and Electric Power.