

APPLICATION OF MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION IN AN OLIGOPOLY MARKET

Rentsen Enkhbat^I, Natsagdorj Tungalag^{II}, Sukhee Batbileg^{III}

Abstract: Modeling competitive behavior in oligopolistic markets through multi-objective optimization is closely linked to decision-making processes in economic systems. This study proposes an approach for identifying Pareto-optimal solutions using empirical export data of coking coal from Mongolia, Russia, and Australia. The Pareto-efficient equilibrium was obtained by transforming the multi-objective problem into a global optimization problem using the weighted sum scalarization technique based on Theorem 2 and solving it in MATLAB. Two experimental models were constructed using different price–cost function structures. The numerical results indicate that the optimal export quantities of the three countries are highly dependent on the functional form of the price–cost relationship. When the price function exhibits quadratic growth, equilibrium supply levels shift toward higher values. These findings demonstrate the significant influence of price elasticity and cost structure on strategic decision-making in resource-based oligopoly markets. The results may provide useful insights for developing optimal export strategies in markets with oligopolistic characteristics.

Keywords: oligopoly market, Pareto equilibrium, multi-objective optimization, global optimization

ОЛОН ЗОРИЛГОТ ОНОВЧЛОЛЫН ОЛИГОПОЛЬ ЗАХ ЗЭЭЛИЙН ХЭРЭГЛЭЭ

Хураангуй: Олигополь зах зээл дээр оролцогчдын өрсөлдөөнт зан төлөвийг олон зорилгот оновчлолын аргаар загварчлах нь эдийн засгийн систем дэх шийдвэр гаргалттай нягт холбоотой байдаг. Энэхүү судалгаанд Монгол, Орос, Австрали улсын коксжих нүүрсний экспортын бодит өгөгдөлд тулгуурлан Парето оновчтой шийдийг тодорхойлох аргачлал дэвшүүлэв. Олон зорилгот оновчлолын Парето тогтворжсон шийдийг Теорем 2-ын жинлэсэн нийлмэл функцийг аргаар глобал оновчлолын бодлого руу хөрвүүлж MATLAB орчинд тооцоолж, хоёр төрлийн үнэ-зардлын функц ашиглан туршилтын загвар боловсруулав. Туршилтын үр дүнгээс харахад коксжих нүүрсний нийлүүлэлтэд оролцогч гурван улсын оптималь экспортын хэмжээ нь үнэ-зардлын функцийг хэлбэрээс мэдэгдэхүйц хамааралтай байж, үнийн функц квадратаар өсөх үед нийлүүлэлтийн тэнцвэрийн цэгүүд өндөр утга руу шилжиж байгааг харууллаа. Судалгааны үр дүн нь олигополь шинжтэй түүхий эдийн зах зээлд оновчтой стратеги боловсруулахад ач холбогдолтой.

Түлхүүр үгс: Олигополь зах зээл, Парето тэнцвэр, олон зорилгот оновчлол, глобал шийд

^I Mongolian Academy of Sciences, (E-mail): renkhbat46@yahoo.com

^{II} Business School, National University of Mongolia, (E-mail): tungalag88@yahoo.com

^{III} Business School, National University of Mongolia, (E-mail): batbileg_sh@num.edu.mn

Оршил

Оновчлолын онолын судалгаанд олон зорилгот оновчлолын бодлогууд (multi-objective optimization problems, MOPs) нь оновчлолын онол, алгоритмын боловсруулалт зэрэг математикийн салбарт хэрэглээ ихтэй, ач холбогдол өндөр бодлогуудын нэг төрөл юм. Бодит системүүдийн дийлэнх нь олон үзүүлэлт, олон шалгуур үзүүлэлтээр нэг зэрэг тодорхойлогдох тул ганц зорилгын функц бүхий оновчлолын бодлого нь бодит нөхцөлд шийдвэр гаргах явцыг хангалттай нарийвчлалтай загварчилж чаддаггүй. Ихэнх тохиолдолд инженерчлэл, эдийн засаг, үйлдвэрлэл, нөөцийн хуваарилалт, логистик, хүрээлэн буй орчны менежмент зэрэг өргөн хүрээний салбаруудад тулгардаг шийдвэрийн асуудлууд олон зорилгот оновчлолын бүтэцтэй байх нь түгээмэл.(Bank et al., 1990; Gass, 1961; Guddat & Ruckmann, 1994; Guddat et al., 1990, 1997)

Олон зорилгот оновчлолын гол зорилго нь хоорондоо харшлах, эсвэл бүрэн таарамжгүй байж болох хэд хэдэн зорилгын функцуудыг нэгэн зэрэг оновчтой болгох бөгөөд энэ нь Парето үр ашигтай байх зарчмын дагуу Парето оновчтой шийд буюу Парето тэнцвэрийн олонлогийг тодорхойлоход хүргэдэг. Энэхүү шийдийн олонлог нь аль нэг зорилгод ашигтай өөрчлөлт хийхэд өөр хэн нэгэнд тодорхой хэмжээний алдагдал гаргах /үүсэх/ чанарыг харуулдаг. Олон зорилгот оновчлолын чиглэлээр Парето үр ашигт байдлын онол, Лексикограф арга, жинлэсэн нийлмэл функцийн арга, ϵ -хязгаарлалтын арга, скаляржуулах арга, мөн генетик алгоритм, дифференциал хувьслын аргууд зэрэг эвристик ба мета-эвристик хандлагуудын талаар олон улсын түвшинд өргөн хүрээний судалгаанууд хийгдсэн байдаг. Олон зорилгот оновчлолын математик суурь, онолын тулгуур ойлголтуудыг хамгийн тодорхой харуулсан бүтээлүүдийн нэг нь Steuer (1986) бөгөөд түүний судалгаанд олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын онол, алгоритмын үндсийг системтэйгээр боловсруулсан байдаг (Steuer, 1986). Парето оновчтой шийдийг тодорхойлох хүрээнд Nakayama (1992) параметрт оновчлолыг ашиглан зорилгуудын хоорондын trade-off харьцааг тооцоолох аргачлалыг санал болгосон нь олон зорилгот системийн тэнцвэрт байдлыг ойлгоход чухал үүрэгтэй юм (Nakayama, 1992).

Ерөнхий тохиолдолд өгөгдсөн боломжит нэг муж дээр хэд хэдэн зорилгын функцийн экстремум утгыг тодорхойлох асуудал нь олон зорилгот оновчлолын үндсэн загварчлалд харьяалагдана. Бодлогын зорилгын функцуудын хэлбэр (шугаман, гүдгэр, гүдгэр бус), мөн боломжит мужийн геометр бүтэц, хязгаарлалтын төрөл (шугаман, ялгаат, тасралтгүй бус гэх мэт)-ээс хамааран олон зорилгот оновчлолын бодлого дараах хэлбэрүүдэд буудаг (Jongen et al., 1986; Nakayama, 1992):

- Шугаман олон зорилгот програмчлал
- Гүдгэр олон зорилгот програмчлал
- Гүдгэр бус олон зорилгот програмчлал

Эдгээр төрлүүдийн аль нэг нь бодлогын шинж чанараас шалтгаалан илүү тохиромжтой онол, тооцооллын арга, алгоритмын стратегийг шаардана. Ялангуяа гүдгэр бус олон зорилгот програмчлалын бодлогууд нь олон локаль экстремумтай, боломжит шийдлийн орон олонлог нахийн, түвэгтэй бүтэцтэй байх тул мета-эвристик, хувьслын алгоритм болон дасан зохицох хайлтын аргууд онцгой үүрэгтэйгээр ашиглагддаг. (Enkhbat & Guddat, 2003; Gass, 1961; Steuer, 1986)

Параметрт оновчлолын аргуудыг бодит системийн шийдвэр гаргалтад огтлолцуулах оролдлогуудыг Bank болон хамтран ажиллагчид (1990) дэлгэрэнгүй тайлбарласан бөгөөд энэ хүрээнд оптималь шийд параметрийн утга өөрчлөгдөхөд хэрхэн шилжилт хийхийг математик загвараар судалсан байдаг. (Bank et al., 1990) Олигополь бүтэцтэй эдийн засгийн орчинд олон зорилгот оновчлолын аргыг ашиглах боломжийг (Enkhbat & Guddat, 2003; Guddat & Ruckmann, 1994) судалгаандаа онцлон дурдсан ба ийм төрлийн зах зээлд стратегийн шийдвэрүүд харилцан хамааралтай байдгийг онцолдог (Enkhbat & Guddat, 2003).

Ийнхүү олон зорилгот оновчлолын арга нь ганц зорилгот оновчлолоос үлэмж илүү төвөгтэй бөгөөд бодит системийн олон талт шинж чанарыг нарийвчлан тусгаж, шийдвэр гаргалтын чанарыг сайжруулахад онцгой ач холбогдолтой онол-практикийн чиглэлээр тогтмол хөгжсөөр байгаа орчин үеийн чиглэл юм.

Олон зорилгот оновчлолын бодлогын тавил, тодорхойлолтыг анх Эдвард (1981), Парето (1886) нар математикийн шинжлэх ухаанд оруулж ирсэн байдаг. Олон зорилгот оновчлолын бодлогыг томъёолбол:

$$\max_{x \in D} f(x) \quad (1)$$

Энд $f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x))$ вектор функц, $x \in D \subset \mathbb{R}^n$, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ вектор, $f_i : D \rightarrow \mathbb{R}$, $i = 1, 2, \dots, m$ скалар функцууд.

(1) бодлогын Парето шийдийг олох нэг үндсэн арга бол жинлэсэн нийлмэл функцийн арга бөгөөд энэ арга нь олон зохилгот функцийг дараах

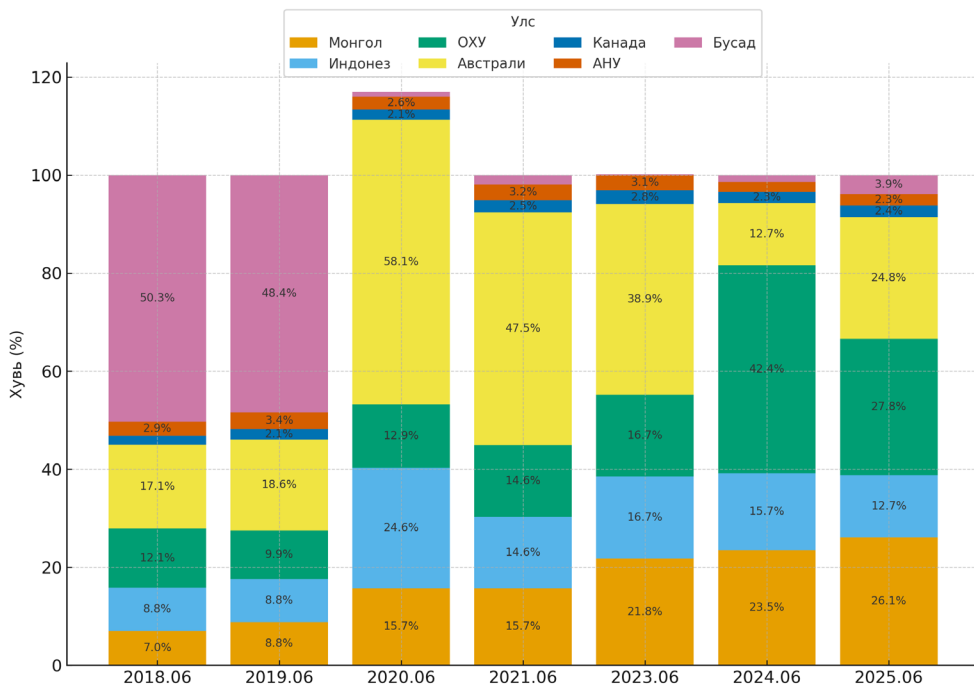
$$\max_{x \in D} \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot f_i(x), \quad \alpha_i > 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

бодлогын глобаль шийдийг олоход оршино. (1) бодлого нь ерөнхий тохиолдолд гүдгэр биш оновчлолын бодлого бөгөөд функцуудын хэлыэр, D мужаас хамааран дараах төрлүүдэд ангиж болно.

1. Хэрэв f_i , $i = 1, 2, \dots, m$ функцууд шугаман бол (2) бодлого нь шугаман програмчлалын бодлого болно. (Choo & Atkins, 1983; Gearhard, 1974)

2. Хэрэв f_i , $i = 1, 2, \dots, m$ функцууд гүдгэр D олонлог гүдгэр бол (2) бодлого нь гүдгэр максимумчлалын бодлого болно. (Guddat et al., 1997; Jahn, 2004)
3. Хэрэв f_i , $i = 1, 2, \dots, m$ функцууд хотгор, D олонлог гүдгэр бол (2) бодлого нь гүдгэр програмчлалын бодлого болно. (Ruckmann & Tammer, 1992)
4. Хэрэв f_i , $i = 1, 2, \dots, s$ функцууд гүдгэр, f_i , $i = s, s + 1, \dots, m$ функцууд хотгор бол (2) бодлого нь D.C. програмчлалын бодлого болно. (Enkhbat & Guddat, 2003; Luc, 1989)
5. Хэрэв $f_i = f_i(x, t)$, $i = 1, 2, \dots, m$, $t \in [t_1, t_2]$ бол (2) бодлого нь параметрт оновчлолын бодлого болно. (Dentcheva et al., 1995; Gol'shtein & Yudin, 1966)

Энэ судалгааны ажил нь Монгол, Орос, Австрали гурван орны Хятад улсын коксжих нүүрсний зах зээл дээрх өрсөлдөөнөөр жишээлж, олигополь зах зээлийн өрсөлдөөнийг олон зорилгот оновчлолын аргаар загварчилах, шийдэх аргыг боловсруулахад чиглэгдсэн. Дээрх орнуудын нүүрсний экспортын тоо хэмжээ, үнийг (*General Administration of Customs of the People's Republic of China*) сайтаас авч ашигласан болно.



Зураг 1: Эх сурвалж: *General Administration of Customs of the People's Republic of China*.

Бүх хятадын (эрчим хүчний нүүрсийг хасаад) нүүрсний нийт импортыг 2025 оны 6-р сарын байдлаар авч үзвэл, 126 сая тн нүүрс импортолсоны 29.6%-ийг ОХУ, 28,6%-ийг Австрали, 26.1%-ийг Монгол эзэлж байгаа нь тухайн зах зээлийн 84,3 хувь болж байна. Коксжих нүүрсний хувьд ч, хятадын импортын 80 гаруй хувийг Монгол, ОХУ, Австрали 3 эзэлж байна. Иймд Хятадын нүүрсний зах зээлийг олигполь зах зээлийн хэв шинжтэй гэж үзэх үндэстэй юм.

Олон зорилтот оновчлол

Олон зорилтот онвчлолын бодлогыг дараах хэлбэрээр бичье:

$$\max_{x \in D} f(x) \quad (3)$$

Энд $f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x))$ вектор функц, $D \subset \mathbb{R}^n$ хоосон биш олонлог.

Тодорхойлолт 1. Хэрэв $\bar{x} \in D$ цэгийн хувьд

$$f_i(x) \geq f_i(\bar{x}), \quad i = 1, 2, \dots, m$$

нөхцлийг хангах $x \in D$ оршихгүй бол $\bar{x}$ -г (3) бодлогын Парето оновчтой цэг гэж нэрлэнэ.

Тодорхойлолт 2. Хэрэв $\bar{x} \in D$ цэгийн хувьд

$$f_i(\bar{x}) \geq f_i(x), \quad i = 1, 2, \dots, m$$

нөхцөл бүх $x \in D$ цэгүүд болон $i \in \{1, 2, \dots, m\}$ индексүүдийн хувьд биелэгддэг бол $\bar{x}$ цэгийг (3) бодлогын хүчтэй Парето оновчтой цэг гэж нэрлэнэ.

Лемм 1. (3) бодлогын хүчтэй Парето оновчтой цэг нь Парето оновчтой цэг болно.

Баталгаа: $\bar{x} \in D$ цэг нь хүчтэй Парето цэг байг. өөрөөр хэлбэл:

$$f_i(\bar{x}) \geq f_i(x), \quad \forall x \in D, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, m\}.$$

байг. Тэгвэл $f(x) \neq f(\bar{x})$ ба $f_i(\bar{x}) \geq f_i(x)$, $\forall i \in \{1, 2, \dots, m\}$ байх $x \in D$ цэг олдохгүй болно. Иймд $\bar{x}$ цэг нь Парето оновчтой цэг болно. Лемм батлагдав. $\square$

Дараах туслах чанарын оновчлолын бодлого авч үзье:

$$\max_{x \in D} F(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot f_i(x), \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, m\}. \quad (4)$$

Теорем 2. (4) бодлогын шийд $x^* \in D$ цэг нь (3) бодлогын Парето оновчтой цэг болно.

Баталгаа: $x^* \in D$ цэг нь (4) бодлогын шийд боловч Парето оновчтой цэг биш болог. Өөрөөр хэлбэл, $\tilde{x} \in D$ цэг орших бөгөөд

$$f(\tilde{x}) \geq f(x^*), i = 1, 2, \dots, m$$

ба тодорхой $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ -ийн хувьд $f_j(\tilde{x}) > f_j(x^*)$ болно.

Нөгөө талаас

$$F(x^*) = \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot f_i(x^*) \leq \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot f_i(\tilde{x}) < \sum_{i \neq j} \alpha_i \cdot f_i(\tilde{x}) + f_j(\tilde{x}) = F(\tilde{x}).$$

энэ нь x^* -нь (4) бодлогын шийд гэдэгт харшилж байна. Теорем батлагдав. $\square$

Хятад улсын зах зээл дээрх нүүрсний өрсөлдөөний загвар

Хятад улсын нүүрсний зах зээл дээрх гурван улсын ашигийн функцийг тус бүрд нь бичье.

$$\pi_m = p_m(x_m) \cdot x_m - c_m \cdot x_m - F_m$$

$$\pi_r = p_r(x_r) \cdot x_r - c_r \cdot x_r - F_r$$

$$\pi_a = p_a(x_a) \cdot x_a - c_a \cdot x_a - F_a$$

Энд $p_m = p_m(x_m)$, $p_r = p_r(x_r)$, $p_a = p_a(x_a)$ -нь Монгол, Орос, Австрали улсуудын Хятад улсад экспортолж буй 1 тонн нүүрсний харгалзах үнийн функцууд, x_m , x_r , x_a -нь орон тус бүрийн экспортолж буй нүүрсний хэмжээ, c_m , c_r , c_a -нь харгалзах хувьсах зардлууд ба F_m , F_r , F_a -нь харгалзах тогтмол зардлууд юм.

Хавсралт 1-ийн өгөгдлүүдийг ашиглан орон тус бүрийн нэгжийн хувьсах зардал, тогтмол зардлуудын үнэлгээг хийж, нүүрсний тоо хэмжээнээс хамаарсан нэг тонн нүүрсний үнийн функцуудыг 2 хувилбараар байгууллаа. Эхний тохиолдолд үнийн болон хувьсах

зардлын функцуудыг шугаман гэж үзсэн.

Энэ тохиолдолд үнийн функцууд:

$$\begin{aligned}p_m(x_m) &= 69.43 \cdot x_m + 37,45 \\p_r(x_r) &= 112.82 \cdot x_r + 85,98 \\p_a(x_a) &= 150.46 \cdot x_a + 104,81\end{aligned}$$

зардлын функцууд:

$$\begin{aligned}c_m(x_m) &= 17.75 \cdot x_m + 2105,09 \\c_r(x_r) &= 22.74 \cdot x_r + 2287,05 \\c_a(x_a) &= 32.73 \cdot x_a + 5634,21\end{aligned}$$

Энэ тохиолдолд 3 орны ашгийн функцууд дараах квадратлаг хэлбэртэй функцууд болно:

$$\begin{aligned}p_m(x_m) &= 69.43 \cdot x_m^2 + 19.72 \cdot x_m - 2105,09 \\p_r(x_r) &= 112.82 \cdot x_r^2 + 63.22 \cdot x_r - 2287,05 \\p_a(x_a) &= 150.46 \cdot x_a^2 + 72.06 \cdot x_a - 5634,21\end{aligned}$$

Хоёрдугаар хувилбарт үнийн функцийг квадрат, зардлын функцийг шугаман гэж авсан:

$$\begin{cases} p_m(x_m) = 0.04 \cdot x_m^2 + 8.34 \cdot x_m + 36.93 \\ c_m(x_m) = 17.75 \cdot x_m + 2105,09 \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_r(x_r) = 1.50 \cdot x_r^2 - 18.90 \cdot x_r + 145,90 \\ c_r(x_r) = 22.74 \cdot x_r + 2287,05 \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_a(x_a) = 2.76 \cdot x_a^2 - 35.32 \cdot x_a + 215,33 \\ c_a(x_a) = 32.73 \cdot x_a + 5634,21 \end{cases}$$

Энэ тохиолдолд харгалзах ашгийн функцууд дараах хэлбэртэй байна:

$$\begin{aligned}\pi_m(x_m) &= 0.04 \cdot x_m^3 + 8.34 \cdot x_m^2 + 19.21 \cdot x_m - 2105,09 \\ \pi_r(x_r) &= 1.50 \cdot x_r^3 - 18.90 \cdot x_r^2 + 123.18 \cdot x_r - 2287,05 \\ \pi_a(x_a) &= 2.76 \cdot x_a^3 - 35.32 \cdot x_a^2 + 182.61 \cdot x_a - 5634,20\end{aligned}$$

Гурван улс Хятад улсын нүүрсний зах зээл дээр борлуулалт хийж байгаа тул тэдгээрийн хийт экспортын хэмжээ Хятад улсын нийт импортын хэмжээнээс илүүгүй байна.

$$x_m + x_r + x_a \leq \mathbb{Q}$$

Энд $\mathbb{Q}$ -нь Хятад улсын нүүрсний нэг жилийн гадаадаас авах эрэлт буюу импортын хэмжээ. Хятад улс руу нийлүүлэлт хийж буй орон бүрийн экспортын хэмжээ нь тус бүрийн хүчин чадлаас хамаарах тул

$$\begin{aligned}x_m^{\min} &\leq x_m \leq x_m^{\max} \\x_r^{\min} &\leq x_r \leq x_r^{\max} \\x_a^{\min} &\leq x_a \leq x_a^{\max}\end{aligned}$$

нөхцлийг хангах ёстой. Тэгвэл орон бүр өөрсдийн ашгаа хамгийн их байлгах бодлого нь олон зорилгот оновчлолын бодлого хэлбэрээр томъёологдоно. Үүнийг ерөнхий тохиодод бичвэл:

$$\begin{aligned}\max_{x_m} \pi_m &= p_m(x_m)x_m - c_mx_m - F_m, \\ \max_{x_r} \pi_r &= p_r(x_r)x_r - c_rx_r - F_r, \\ \max_{x_a} \pi_a &= p_a(x_a)x_a - c_ax_a - F_a.\end{aligned}$$

$$\begin{cases} x_m^{\min} \leq x_m \leq x_m^{\max} \\ x_r^{\min} \leq x_r \leq x_r^{\max} \\ x_a^{\min} \leq x_a \leq x_a^{\max} \\ x_m + x_r + x_a \leq \mathbb{Q} \end{cases}$$

Теорем(2)-ын тусламжтайгаар (4) бодлогын Парето оновчтой цэгийг олж болно. Үүний тулд дараах оновчлолын бодлогыг бодно:

$$\max_x F(x) = \sum_{i \in \{m, r, a\}} \alpha_i (p_i(x_i)x_i - c_i(x_i) - F_i) \quad (5)$$

$$\begin{cases} x_m + x_r + x_a \leq \mathbb{Q} \\ x_m^{\min} \leq x_m \leq x_m^{\max} \\ x_r^{\min} \leq x_r \leq x_r^{\max} \\ x_a^{\min} \leq x_a \leq x_a^{\max} \end{cases}$$

энд α_i -нь нийлбэр ашигт дунджаар орон бүрийн эзэлж буй хувийн жин.

Бид (5) бодлогыг дэлгэрэнгүй бичвэл:

$$\begin{aligned}\max_{x_m, x_r, x_a} F(x_m, x_r, x_a) &= \alpha_m(69.43x_m^2 + 19.72x_m - 2105, 09) + \\ &+ \alpha_2(112.82x_r^2 + 63.22x_r - 2287, 05x_r) + \\ &+ \alpha_3(150.46x_a^2 + 72.06x_a - 5634, 20x_a)\end{aligned}$$

Сүүлийн жилүүдийн дунджаас үзвэл Монгол, Орос, Австрали улсуудын хувьд гурван улсын нийлбэр ашигт эзэлж буй хувь нь харгалзан 50%, 20%, 30% байгаа тул орон тус бүрд харгалзах хувийн жинг $\alpha_m = 0.5$, $\alpha_r = 0.2$, $\alpha_a = 0.3$ гэж авбал Парето оновчтой цэг нь

$$x_m^* = 74.4(\text{сая тонн}), x_r^* = 102.0(\text{сая тонн}), x_a^* = 81.1(\text{сая тонн})$$

гэсэн үр дүн гарч байна.

Харин бидний ав ч үзэж буй 2-р хувилбар буюу үнийн функцийг квадрат, зардлын функцийг шугаман гэж авсан үед зорилгын функц дараах хэлбэртэй болно:

$$\begin{aligned} \max_{x_m, x_r, x_a} F(x_m, x_r, x_a) = & \alpha_m(0.04x_m^3 + 8.34x_m^2 + 19.21x_m - 2105, 09) + \\ & + \alpha_2(14986x_r^3 - 18.901x_r^2 + 123.18x_r - 2287, 05) + \\ & + \alpha_3(2.76x_a^3 - 35.32x_a^2 + 182.61x_a - 5634, 20) \end{aligned}$$

< Монгол болон Орос улс Хятад улстай "сайн харилцатай", энэ харилцаа нь ойрын хугацаанд хадгалагдана. Мөн Монгол улс тээвэр ложистикийн хувьд ойрын хугацаанд илүү давуу болно. Дэлхийн геополтикийн байдал энэ хэвээр үргэлжилнэ > гэсэн таамаглал дэвшүүлж, Монгол улсын нийлбэр ашигт эзлэх хувийг 10%-аар ихэсгэж, Орос улсынхыг хэвээр үлдээж, Австрали улсын эзлэх хувийг 10%-аар бууруулж хувийн жингийн параметруудийг $\alpha_m = 0.6$, $\alpha_r = 0.2$, $\alpha_a = 0.2$ гэж авч MATLAB ашиглан тооцоог хийвэл бодлогын Парето оновчтой шийд нь :

$$x_m^* = 110.0(\text{сая тонн}), x_r^* = 118.0(\text{сая тонн}), x_a^* = 125.0(\text{сая тонн})$$

болно.

Талархал

Энэхүү судалгааны ажил нь Шинжлэх ухаан технологийн сан (ШУТС)-гийн суурь судалгааны 2024/203 дугаартай төслийн санхүүжилтийн хүрээнд хийгдсэн болно.

Дүгнэлт

Энэ судалгаагаар БНХАУ-ын нүүрсний зах зээлд өрсөлдөж буй Монгол, Орос, Австрали гурван улсын экспортын стратегийг олон зорилгот оновчлолын онол дээр тулгуурлан шинжилж, Парето оновчтой цэгийг математик загварчлалын үндсэн дээр тодорхойллоо. MATLAB орчинд хийсэн тооцооллоос харахад хоёр өөр хувилбарын хувьд оновчтой экспортын хэмжээ мэдэгдэхүйц өөрчлөгдөж, үнэ-зардлын функцийн шинж чанар нь стратегийн шийдэнд хүчтэй нөлөөлж буйг илрүүлэв. Энэ нь олигополь бүтэцтэй бараа бүтээгдэхүүний зах зээлд бодлого боловсруулахдаа үнэ тогтоолт, бүтээгдэхүүний өртөг, зах зээлд оролцогсдын хүчин чадлын хязгаарлалт, зах зээлийн багтаамж (манай тохиолдолд Хятад улсын коксжих нүүрсний нийт импорт), өөрчлөлтийг тооцох шаардлагатайг харуулж байна.

Цаашдын судалгаанд тоглоомын онолыг ашиглах, хугацаан динамик загварыг ашиглах, мөн үнэлгээний тодорхойгүй байдлын болон мэдрэмжийн шинжилгээ хийх нь бидний энэ ажлаар гарган авсан үр дүнг сайжруулах боломжтой. Судалгааны үр дүн бодлого боловсруулагчдад, компаниудын экспортын шийдвэр гаргалтад, мөн олигополь онолын практик хэрэглээнд ашигтай болно.

Ашигласан ном

- B. Bank and others. *Nonlinear Parametric Optimization*. Berlin: Akademie-Verlag, 1990.
- S. I. Gass. *Linear Programming*. Moscow: Fizmatgiz, 1961.
- J. Guddat, F. Guerra and H. Th. Jongen. *Parametric Optimization: Singularities, Pathfollowing and Jumps*. Chichester: E. G. Teubner; John Wiley, 1990.
- J. Guddat and J. Ruckmann. "One-Parametric Optimization: Jumps in the Set of Generalized Critical Points". in *Control and Cybernetics*: 23.1/2 (1994), pages 139–151.
- J. Guddat, F. Guerra and D. Nowack. "On the Role of the Mangasarian-Fromovitz Constraints Qualification for Penalty, Exact Penalty and Lagrange Multiplier Methods". in *Mathematical Programming with Data Perturbations*: by editor A. V. Fiacco. New York: Marcel Dekker, 1997, pages 159–183.
- R. E. Steuer. *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Applications*. New York: John Wiley, 1986.
- H. Th. Jongen, P. Jonker and F. Twilt. "Critical Sets in Parametric Optimization". in *Mathematical Programming*: 34 (1986), pages 333–353.
- H. Nakayama. "Trade-off Analysis using Parametric Optimization Techniques". in *European Journal of Operational Research*: 60 (1992), pages 87–98.
- R. Enkhbat and J. Guddat. "From Linear Parametric Optimization to Nonlinear Parametric Optimization: Methods and Algorithms, Survey". in *Journal of Mongolian Mathematical Society*: 7 (2003), pages 35–50.
- E. V. Choo and D. R. Atkins. "Proper Efficiency in Nonconvex Multicriteria Programming". in *Mathematics of Operations Research*: 8 (1983), pages 467–470. 9
- W. B. Gearhard. "On Vectorial Approximation". in *Journal of Approximation Theory*: 10 (1974), pages 49–63.
- J. Jahn. *Vector Optimization: Theory, Applications and Extensions*. New York: Springer, 2004.
- J. J. Ruckmann and K. Tammer. "Linear-Quadratic Perturbations in One-Parametric on-Linear Optimization". in *Systems Science*: 18.1 (1992), pages 37–48.
- D. T. Luc. *Theory of Vector Optimization*. Berlin: Springer, 1989.
- D. Dentcheva and others. "Pathfollowing Methods in Nonlinear Optimization III: Lagrange Multiplier Embedding". in *Mathematical Methods of Operations Research*: 41 (1995), pages 1432–2994.
- E. G. Gol'shtein and D. B. Yudin. *New Directions in Linear Programming*. Moscow: Soviet Radio, 1966.