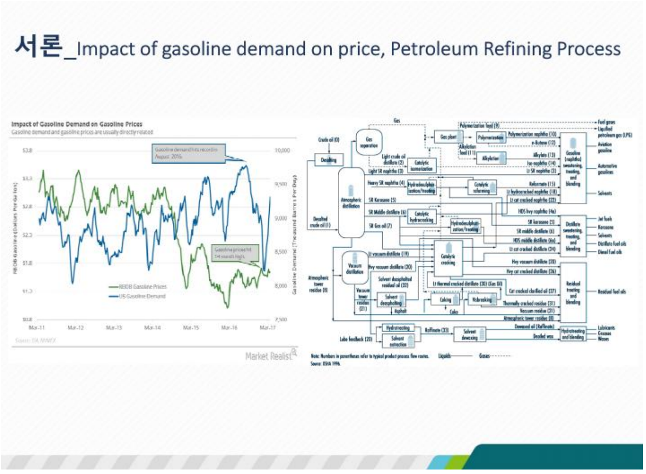
석유물류네트워크의 로버스트 추계적 최적화 모형

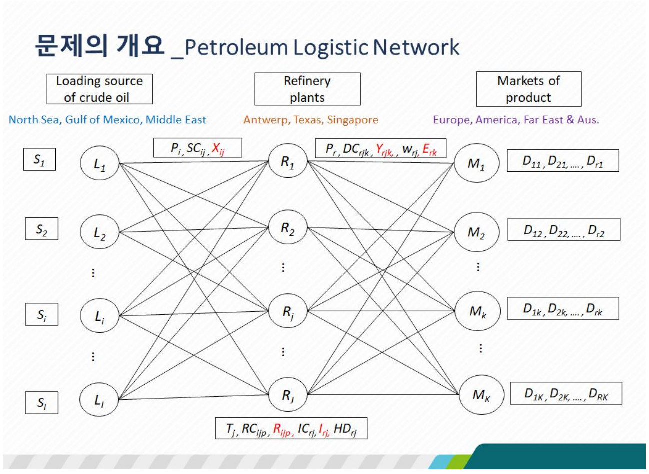
김문주* · † 김시화

*한국해양대학교 대학원 해운경영학과, † 한국해양대학교 해사대학 교수

요 약 : 다수의 원유 선적항으로부터 여러 정유공장으로 수송된 원유를 정제하여 생산한 제품유를 글로벌 수요시장으로 배분하는 2단계 석유물류네트워크의 최적화는 글로벌 석유 메이저의 중요한 의사결정문제이다. 본 연구는 제품유 시장의 가격 및 수요 변동의 영향을 반영하여 원유 수송, 정제 및 제품유 배분을 최적화하기 위한 석유물류네트워크의 로버스트 추계적 모형을 제시하고 있다. 계산실험은 제품유 시장의 가격 및 수요 변동에 관한 시나리오 기반의 데이터를 사용하여 최적화 모형에 적용하였으며, 그 결과를 바탕으로 제시한 최적화모형의 유용성과 타당성을 검증하여 보고하고 있다.

핵심용어 : 글로벌 석유 메이저, 석유물류네트워크, 정유 공장, 추계적 모형, 로버스트 최적화 모형





연구대상 및 방법

- 본 연구는 글로벌 석유 메이저가 제품유 시장의 수요 변동 속에서 석유 물류 네트워크를 추계적으로 최적화하는 문제를 다룸
- 글로벌 석유 메이저가 제품유 가격 및 시장수요 변동을 반영하여 원유 수송, 정유 및 배분을 최적하기 위한 위한 석유 물류 네트워크의 로버스트 추계적 모형을 제시함
- 제품유 가격 및 시장 수요 변동에 관한 시나리오 기반의 데이터를 사용함
- 로버스트 최적화모형, 리코스 제한 최적화 모형

문제의 정식화_Deterministic Formulation

[Index]

i : Loading source of crude ($i=1,2,3$: North Sea, Gulf of mexico, Middle East)
j : Refinery plant ($j=1,2,3$: Antwerp, Texas, Singapore)
k : Product market overseas ($k=1,2,3$: Europe, America, Far East)
r : Type of product ($r=1,2,3$: Gasoline, Dist, Fuel)
p : Level of process intensity ($p=1,2$: Medium, High)

[Data]

S_i : Crude supply at loading source i (B/D)
P_i : Price of crude at loading source i (\$/B)
SC_{ij} : Shipping cost from loading source i to refinery j (\$/B)
T_j : Maximum throughput at refinery j (B/D)
RC_{ijp} : Cost of refining crude i at refinery j on processing intensity p (\$/B)
G_{rijp} : Yields rate per barrel of product r refining crude i at refinery j on processing intensity p
P_r : Price of type of product r (\$/B)
IC_{rj} : Inventory cost of product r at refinery j (\$/B/D)
HD_{rj} : Homeland demand of product r at refinery j (B/D)
D_{srk} : Demand of product r at market k (B/D)
DC_{rjk} : Distribution cost of product r from refinery j to market k (\$/B)
w_{rj}^- : Weighting penalty for short of Market demand about product r at refinery j (\$/B)

[Decision Variables]

X_{ij} : The amount of shipping crude i to refinery j (B/D)
R_{ijp} : The amount of crude i refined at j on processing intensity p (B/D)
Y_{rjk} : The distribution amount of product r from refinery j to market k (B/D)
I_{rj} : Inventory of product r at refinery j (B/D)
E_{rk}^- : the amount of product r falling short of demand at market k

† 교신저자 : 종신회원, shalom@kmou.ac.kr
* 정회원, moonjoo0418@kmou.ac.kr

문제의 정식화_Deterministic Formulation

[Objective function, Constraints]

$$Min \quad Z=\sum_i\sum_j(P_i+SC_{ij})X_{ij}+\sum_r\sum_j\sum_k(P_r+DC_{rjk})Y_{rjk}+\sum_i\sum_j\sum_p RC_{ijp}R_{ijp}+\sum_r\sum_j IC_{rj}I_{rj}+\sum_r\sum_k w_{rk}^{-}E_{rk}^{-}$$

s.t.

$$\sum_j X_{ij}\le S_i \quad (\text{for all } i)$$

$$\sum_i\sum_p R_{ijp}\le T_j \quad (\text{for all } j)$$

$$\sum_p R_{ijp}-X_{ij}\le 0 \quad (\text{for all } i \text{ and } j)$$

$$\sum_j Y_{rjk}+E_{rk}^{-}=D_{rk} \quad (\text{for all } r \text{ and } k)$$

$$\sum_i\sum_p G_{rijp}R_{ijp}-\sum_k Y_{rjk}-I_{rj}=HD_{rj} \quad (\text{for all } r \text{ and } j)$$

$$X_{ij}, Y_{rjk}, R_{ijp}, I_{rj}\ge 0$$

Input Data

Crude	P_i
north sea	54.74
gulf of mexico	49.67
middle east	50.71

Crude	SC_{ij} ($/B)		
	antwerp	texas	singapore
north sea	0.92	1.99	2.83
gulf of mexico	1.82	0.54	3.66
middle east	2.01	2.88	1.02

Refinery	Costs ($/B) Antwarp			Costs ($/B) Texas			Costs ($/B) Singapoer		
process Intensity	brent	wti	dubai	brent	wti	dubai	brent	wti	dubai
Medium	2.53	3.73	3.13	3.37	4.97	4.17	2.95	4.35	3.65
High	5.90	7.45	6.67	7.16	9.69	8.42	6.53	8.57	7.55

Distribution Costs($/B)	Med.	South Am.	Far E.
Antwerp	0.9	2.21	3.2
Texas	1.83	1.61	3.38
Singapor⊏	2.3	2.81	1.02

Inventory costs ($/B/D)	gasoline	Dist	Fuel
antwerp	4.5273	4.7229	4.3316
texas	4.4610	4.6410	4.2809
singapore	3.7681	4.3134	3.2227

문제의 정식화_Stochastic Formulation

[Index]

i : Loading source of crude ($i=1,2,3$: North Sea, Gulf of mexico, Middle East)
j : Refinery plant ($j=1,2,3$: Antwerp, Texas, Singapore)
k : Product market overseas ($k=1,2,3$: Europe, America, Far East)
r : Type of product ($r=1,2,3$: Gasoline, Dist, Fuel)
p : Level of process intensity ($p=1,2$: Medium, High)

[Data]

S_i : Crude supply at loading source i (B/D)
P_i : Price of crude at loading source i ($/B)
SC_{ij} : Shipping cost from loading source i to refinery j ($/B)
T_j : Maximum throughput at refinery j (B/D)
RC_{ijp} : Cost of refining crude i at refinery j on processing intensity p ($/B)
G_{rijp} : Yields rate per barrel of product r refining crude i at refinery j on processing intensity p
P_{sr} : Price of type of product r ($/B)
IC_{rj} : Inventory cost of product r at refinery j ($/B/D)
HD_{rj} : Homeland demand of product r at refinery j (B/D)
D_{srk} : Demand of product r at market k (B/D)
DC_{rjk} : Distribution cost of product r from refinery j to market k ($/B)
w_{rj}^{-} : Weighting penalty for short of Market demand about product r at refinery j ($/B)

[Decision Variables]

X_{ij} : The amount of shipping crude i to refinery j (B/D)
R_{ijp} : The amount of crude i refined at j on processing intensity p (B/D)
Y_{srjk} : The distribution amount of product r in scenario s from refinery j to market k (B/D)
I_{srj} : Inventory of product r in scenario s at refinery j (B/D)
E_{srk}^{-} : the amount of product r falling short of demand in scenario s at market k (B/D)

Stochastic Scenario Data

Possible economic situation

1) Good 20%

product costs($/bbl)			
	Antwerp	Texas	Singapore
Gasoline	90.55	94.46	86.63
Dist.	89.22	92.82	85.62
Fuel	75.36	86.27	64.45

Product / Market		Gasoline	Dist.	Fuel
Overseas Demand	Europe	78,000	58,500	58,500
	America	52,000	45,500	32,500
	Far East	57,720	54,600	43,680

2) Fair 50%

product costs($/bbl)			
	Antwerp	Texas	Singapore
Gasoline	69.65	72.66	66.64
Dist.	68.63	71.40	65.86
Fuel	57.97	66.36	49.58

Product / Market		Gasoline	Dist.	Fuel
Overseas Demand	Europe	60,000	45,000	45,000
	America	40,000	35,000	25,000
	Far East	44,400	42,000	33,600

3) Poor 30%

product costs($/bbl)			
	Antwerp	Texas	Singapore
Gasoline	48.76	50.86	46.65
Dist.	48.04	49.98	46.10
Fuel	40.58	46.45	34.71

Product / Market		Gasoline	Dist.	Fuel
Overseas Demand	Europe	42,000	31,500	31,500
	America	28,000	24,500	17,500
	Far East	31,080	29,400	23,520

문제의 정식화_Stochastic Formulation

[Objective function, Constraints]

$$Min \quad Z=\sum_i\sum_j(P_i+SC_{ij})X_{ij}+\sum_i\sum_j\sum_p RC_{ijp}R_{ijp}+\sum_s P_s\Big[\sum_r\sum_j\sum_k(P_{sr}+DC_{rjk})Y_{srjk}+\sum_r\sum_j IC_{rj}I_{srj}+\sum_r\sum_k w_{rk}^{-}E_{srk}^{-}\Big]$$

s.t.

$$\sum_j X_{ij}\le S_i \quad (\text{for all } i)$$

$$\sum_i\sum_p R_{ijp}\le T_j \quad (\text{for all } j)$$

$$\sum_p R_{ijp}-X_{ij}\le 0 \quad (\text{for all } i \text{ and } j)$$

$$\sum_j Y_{srjk}+E_{srk}^{-}=D_{srk} \quad (\text{for all } s, r \text{ and } k)$$

$$\sum_i\sum_p G_{rijp}R_{ijp}-\sum_k Y_{srjk}-I_{srj}=HD_{rj} \quad (\text{for all } s, r \text{ and } j)$$

$$X_{ij}, Y_{srjk}, R_{ijp}, I_{srj}, E_{srk}^{-}\ge 0$$

Optimal Solution(Deterministic Model)

1. Scenario_Good

		이름	계산 값
		총비용	111,073,047
이름	계산 값	이름	계산 값
최적해 X11	0	최적해 Y211	0
최적해 X12	127241	최적해 Y212	31939
최적해 X13	0	최적해 Y213	12317
최적해 X21	255319	최적해 Y221	0
최적해 X22	44681	최적해 Y222	0
최적해 X23	0	최적해 Y223	42283
최적해 X31	0	최적해 Y231	58500
최적해 X32	121483	최적해 Y232	13561
최적해 X33	478517	최적해 Y233	0
최적해 R111	0	최적해 Y311	0
최적해 R112	0	최적해 Y312	0
최적해 R121	0	최적해 Y313	5745
최적해 R122	127241	최적해 Y321	0
최적해 R131	0	최적해 Y322	0
최적해 R132	0	최적해 Y323	0
최적해 R211	0	최적해 Y331	58500
최적해 R212	255319	최적해 Y332	32500
최적해 R221	0	최적해 Y333	37935
최적해 R222	44681	최적해 I11	0
최적해 R231	0	최적해 I12	0
최적해 R232	0	최적해 I13	0
최적해 R311	0	최적해 I21	0
최적해 R312	0	최적해 I22	0
최적해 R321	984	최적해 I23	0
최적해 R322	120549	최적해 I31	0
최적해 R331	302464	최적해 I32	0
최적해 R332	176052	최적해 I33	0
최적해 Y111	0	최적해 E-11	51404
최적해 Y112	0	최적해 E-12	0
최적해 Y113	0	최적해 E-13	57720
최적해 Y121	0	최적해 E-21	0
최적해 Y122	0	최적해 E-22	0
최적해 Y123	0	최적해 E-23	0
최적해 Y131	26596	최적해 E-31	0
최적해 Y132	52000	최적해 E-32	0
최적해 Y133	0	최적해 E-33	0

2. Scenario_Fair

		이름	계산 값
		총비용	89,409,506
이름	계산 값	이름	계산 값
최적해 X11	0	최적해 Y211	0
최적해 X12	181769	최적해 Y212	2007
최적해 X13	0	최적해 Y213	42000
최적해 X21	300000	최적해 Y221	0
최적해 X22	0	최적해 Y222	0
최적해 X23	0	최적해 Y223	0
최적해 X31	0	최적해 Y231	45000
최적해 X32	118231	최적해 Y232	32993
최적해 X33	481769	최적해 Y233	0
최적해 R111	0	최적해 Y311	0
최적해 R112	0	최적해 Y312	0
최적해 R121	0	최적해 Y313	12000
최적해 R122	181769	최적해 Y321	0
최적해 R131	0	최적해 Y322	0
최적해 R132	0	최적해 Y323	0
최적해 R211	0	최적해 Y331	45000
최적해 R212	300000	최적해 Y332	25000
최적해 R221	0	최적해 Y333	21600
최적해 R222	0	최적해 I11	0
최적해 R231	0	최적해 I12	0
최적해 R232	0	최적해 I13	0
최적해 R311	0	최적해 I21	14993
최적해 R312	0	최적해 I22	50782
최적해 R321	23590	최적해 I23	0
최적해 R322	94641	최적해 I31	0
최적해 R331	172041	최적해 I32	0
최적해 R332	309729	최적해 I33	0
최적해 Y111	0	최적해 E-11	0
최적해 Y112	0	최적해 E-12	0
최적해 Y113	21000	최적해 E-13	18755
최적해 Y121	0	최적해 E-21	0
최적해 Y122	0	최적해 E-22	0
최적해 Y123	0	최적해 E-23	0
최적해 Y131	60000	최적해 E-31	0
최적해 Y132	40000	최적해 E-32	0
최적해 Y133	4645	최적해 E-33	0

3. Scenario_Poor

		이름	계산 값
		총비용	69,914,011
이름	계산 값	이름	계산 값
최적해 X11	0	최적해 Y211	0
최적해 X12	89763	최적해 Y212	214
최적해 X13	0	최적해 Y213	29400
최적해 X21	300000	최적해 Y221	0
최적해 X22	0	최적해 Y222	0
최적해 X23	0	최적해 Y223	0
최적해 X31	0	최적해 Y231	31500
최적해 X32	199096	최적해 Y232	24286
최적해 X33	400904	최적해 Y233	0
최적해 R111	0	최적해 Y311	0
최적해 R112	0	최적해 Y312	0
최적해 R121	0	최적해 Y313	12000
최적해 R122	89763	최적해 Y321	0
최적해 R131	0	최적해 Y322	0
최적해 R132	0	최적해 Y323	0
최적해 R211	0	최적해 Y331	31500
최적해 R212	300000	최적해 Y332	17500
최적해 R221	0	최적해 Y333	11520
최적해 R222	0	최적해 I11	0
최적해 R231	0	최적해 I12	0
최적해 R232	0	최적해 I13	0
최적해 R311	0	최적해 I21	29386
최적해 R312	0	최적해 I22	39746
최적해 R321	37187	최적해 I23	0
최적해 R322	161909	최적해 I31	0
최적해 R331	118035	최적해 I32	0
최적해 R332	282869	최적해 I33	0
최적해 Y111	0	최적해 E-11	0
최적해 Y112	0	최적해 E-12	0
최적해 Y113	21000	최적해 E-13	0
최적해 Y121	0	최적해 E-21	0
최적해 Y122	0	최적해 E-22	0
최적해 Y123	0	최적해 E-23	0
최적해 Y131	42000	최적해 E-31	0
최적해 Y132	28000	최적해 E-32	0
최적해 Y133	10080	최적해 E-33	0

Optimal Solution(Stochastic Model)

Stochastic

이름	계산 값
총비용	88,541,404

이름	계산 값	이름	계산 값	이름	계산 값	이름	계산 값	이름	계산 값	이름	계산 값
최적해 X11	0	최적해 Y1111	0	최적해 Y2111	0	최적해 Y3111	0	최적해 I111	0	최적해 E-111	28920
최적해 X12	131965	최적해 Y1112	0	최적해 Y2112	0	최적해 Y3112	0	최적해 I112	0	최적해 E-112	0
최적해 X13	0	최적해 Y1113	0	최적해 Y2113	0	최적해 Y3113	0	최적해 I113	0	최적해 E-113	57720
최적해 X21	255319	최적해 Y1121	0	최적해 Y2121	0	최적해 Y3121	0	최적해 I121	0	최적해 E-121	0
최적해 X22	44681	최적해 Y1122	0	최적해 Y2122	0	최적해 Y3122	0	최적해 I122	5974	최적해 E-122	0
최적해 X23	0	최적해 Y1123	0	최적해 Y2123	0	최적해 Y3123	0	최적해 I123	0	최적해 E-123	0
최적해 X31	0	최적해 Y1131	49080	최적해 Y2131	60000	최적해 Y3131	42000	최적해 I131	0	최적해 E-131	0
최적해 X32	117331	최적해 Y1132	52000	최적해 Y2132	40000	최적해 Y3132	28000	최적해 I132	0	최적해 E-132	0
최적해 X33	482669	최적해 Y1133	0	최적해 Y2133	1080	최적해 Y3133	31080	최적해 I133	0	최적해 E-133	31080
최적해 R111	0	최적해 Y1211	0	최적해 Y2211	0	최적해 Y3211	0	최적해 I211	0	최적해 E-211	0
최적해 R112	0	최적해 Y1212	26532	최적해 Y2212	2532	최적해 Y3212	0	최적해 I212	0	최적해 E-212	0
최적해 R121	0	최적해 Y1213	17724	최적해 Y2213	41724	최적해 Y3213	29400	최적해 I213	0	최적해 E-213	43320
최적해 R122	131965	최적해 Y1221	0	최적해 Y2221	0	최적해 Y3221	0	최적해 I221	0	최적해 E-221	0
최적해 R131	0	최적해 Y1222	0	최적해 Y2222	0	최적해 Y3222	0	최적해 I222	42574	최적해 E-222	0
최적해 R132	0	최적해 Y1223	36876	최적해 Y2223	276	최적해 Y3223	0	최적해 I223	0	최적해 E-223	0
최적해 R211	0	최적해 Y1231	58500	최적해 Y2231	45000	최적해 Y3231	31500	최적해 I231	0	최적해 E-231	0
최적해 R212	255319	최적해 Y1232	18968	최적해 Y2232	32468	최적해 Y3232	24500	최적해 I232	0	최적해 E-232	0
최적해 R221	0	최적해 Y1233	0	최적해 Y2233	0	최적해 Y3233	0	최적해 I233	0	최적해 E-233	0
최적해 R222	44681	최적해 Y1311	0	최적해 Y2311	0	최적해 Y3311	0	최적해 I311	0	최적해 E-311	0
최적해 R231	0	최적해 Y1312	0	최적해 Y2312	0	최적해 Y3312	0	최적해 I312	0	최적해 E-312	0
최적해 R232	0	최적해 Y1313	5745	최적해 Y2313	5745	최적해 Y3313	0	최적해 I313	0	최적해 E-313	0
최적해 R311	0	최적해 Y1321	0	최적해 Y2321	0	최적해 Y3321	0	최적해 I321	14855	최적해 E-321	0
최적해 R312	0	최적해 Y1322	0	최적해 Y2322	0	최적해 Y3322	0	최적해 I322	42850	최적해 E-322	0
최적해 R321	236	최적해 Y1323	0	최적해 Y2323	0	최적해 Y3323	0	최적해 I323	21468	최적해 E-323	0
최적해 R322	117095	최적해 Y1331	58500	최적해 Y2331	45000	최적해 Y3331	31500	최적해 I331	5745	최적해 E-331	0
최적해 R331	192949	최적해 Y1332	32500	최적해 Y2332	25000	최적해 Y3332	17500	최적해 I332	0	최적해 E-332	0

로버스트 최적화 모형(RO-UPM Formulation)

$$Min \quad Z = \sum_i \sum_j (P_i + SC_{ij}) X_{ij} + \sum_i \sum_j \sum_p RC_{ijp} R_{ijp} + \sum_s p_s [\sum_r \sum_j \sum_k (P_{sr} + DC_{rjk}) Y_{srjk} + \sum_r \sum_j IC_{rj} I_{srj} + \sum_r \sum_k w_{rk}^- E_{srk}^-] + \rho \sum_s p_s \triangle_s$$

s.t.

$$\sum_j X_{ij} \le S_i, \ (for \ all \ i)$$

$$\sum_i \sum_p R_{ijp} \le T_j \ (for \ all \ j)$$

$$\sum_p R_{ijp} - X_{ij} \le 0 \ (for \ all \ i,j)$$

$$[\sum_r \sum_j \sum_k (P_{sr} + DC_{rjk}) Y_{srjk} + \sum_r \sum_j IC_{rj} I_{srj} + \sum_r \sum_k w_{rk}^- E_{srk}^-] - \sum_s p_s [\sum_r \sum_j \sum_k (P_{sr} + DC_{rjk}) Y_{srjk} + \sum_r \sum_j IC_{rj} I_{srj} + \sum_r \sum_k w_{rk}^- E_{srk}^-] - \triangle_s \le 0$$

$$\sum_j Y_{srjk} + E_{srk}^- = D_{srk}, \ (for \ all \ s,r,k)$$

$$\sum_i \sum_p G_{rijp} R_{ijp} - \sum_k Y_{srjk} - I_{srj} = HD_{rj} \ (for \ all \ s,r,j)$$

$$X_{ij}, Y_{srjk}, R_{ijp}, I_{srj}, \ \triangle_s \ge 0 \ ^{1)}$$

$$^{1)} \triangle_s = \max(0, [\sum_r \sum_j \sum_k (P_{sr} + DC_{rjk}) Y_{srjk} + \sum_r \sum_j IC_{rj} I_{srj} + \sum_r \sum_k w_{rk}^- E_{srk}^-] - \sum_s p_s [\sum_r \sum_j \sum_k (P_{sr} + DC_{rjk}) Y_{srjk} + \sum_r \sum_j IC_{rj} I_{srj} + \sum_r \sum_k w_{rk}^- E_{srk}^-] - \triangle_s)$$

EVPI(The expected Value of Perfect Information)

- With Perfect information,
- 0.2*111,073,047+0.5*89,409,506+0.3*69,914,011=87,893,566
- Without Perfect information, can at best minimize expected cost by solving the stochastic program = 88,541,404
- EVPI = 87,893,566 - 88,541,404 = 647,838

리코스 제한 최적화 모형(RR-UPM Formulation)

$$Min \quad Z = \sum_i \sum_j (P_i + SC_{ij}) X_{ij} + \sum_i \sum_j \sum_p RC_{ijp} R_{ijp} + \sum_s p_s [\sum_r \sum_j \sum_k (P_{sr} + DC_{rjk}) Y_{srjk} + \sum_r \sum_j IC_{rj} I_{srj} + \sum_r \sum_k w_{rk}^- E_{srk}^-]$$

s.t.

$$\sum_{j=1} X_{ij} \le S_i, \ (for \ all \ i)$$

$$\sum_p R_{ijp} - X_{ij} \le 0 \ (for \ all \ i,j)$$

$$[\sum_r \sum_j \sum_k (P_{sr} + DC_{rjk}) Y_{srjk} + \sum_r \sum_j IC_{rj} I_{srj} + \sum_r \sum_k w_{rk}^- E_{srk}^-] - \sum_s p_s [\sum_r \sum_j \sum_k (P_{sr} + DC_{rjk}) Y_{srjk} + \sum_r \sum_j IC_{rj} I_{srj} + \sum_r \sum_k w_{rk}^- E_{srk}^-] - \triangle_s \le 0$$

$$\sum_s p_s \triangle_s \le \epsilon$$

$$\sum_j Y_{srjk} + E_{srk}^- = D_{srk}, \ (for \ all \ s,r,k)$$

$$\sum_i \sum_p G_{rijp} R_{ijp} - \sum_k Y_{srjk} - I_{srj} \ge HD_{rj} \ (for \ all \ s,r,j)$$

$$X_{ij}, Y_{srjk}, R_{ijp}, I_{srj} \ge 0, \ \triangle_s \ge 0 \ ^{1)}$$

$$^{1)} \triangle_s = \max(0, [\sum_r \sum_j \sum_k (P_{sr} + DC_{rjk}) Y_{srjk} + \sum_r \sum_j IC_{rj} I_{srj} + \sum_r \sum_k w_{rk}^- E_{srk}^-] - \sum_s p_s [\sum_r \sum_j \sum_k (P_{sr} + DC_{rjk}) Y_{srjk} + \sum_r \sum_j IC_{rj} I_{srj} + \sum_r \sum_k w_{rk}^- E_{srk}^-] - \triangle_s)$$

VSS(The Value of Stochastic Solution)

- What is the *value* of including the randomess?

- Suppose we just replaced the "random" quantities by their mean values and solved that problem.
- Solve the "mean-value" problem to get a first stage solution, and solve all the weighted (by probability) scenarios to get a second stage solution.

- We would expect in the long run to make an average cost of =0.2*113,877,559+0.5*89,409,506+0.3*75,746,647 = 90,204,259
- VSS =90,204,259 - 88,541,404 = 1,662,855

결론

- 제안된 최적화 모형의 실험과 검증을 통해 제품유 가격과 시장의 수요 변동 속에서 강인한 원유 수송, 정유, 배분의 계획을 도출하여 최적 기대이익에 가까운 의사결정이 가능함을 보여줌
- 불확실성 하에서 글로벌 석유 메이저가 제품유 가격 및 시장수요 변동을 고려하는 석유물류네트워크의 원유 수송, 정유 및 배분을 최적화 의사결정에 유용하게 사용될 것임