부 록

〈 부록 1 〉

다음의 목적함수를 X_0에 대하여 최소화해야 한다.

$$H = \left\{ S_0 \cdot X_0 + e^{-\eta T} E_P \left[\left(\int_0^T Q_s ds - \delta_0 \right)^+ \cdot P | F_0 \right] \right\}$$

$$= \left\{ S_0 \cdot X_0 + e^{-\eta T} E_P \left[\left(\int_0^T Q_s ds - N_0 - X_O \right)^+ \cdot P \right] \right\}$$

$$= \left\{ S_0 \cdot X_0 + e^{-\eta T} E_P \left[\left(\frac{4}{\sigma^2} \cdot Q_0 \cdot A^Z_{\sigma^2 T/4} - N_0 - X_0 \right)^+ \cdot P \right] \right\}$$

여기서,

$$\int_0^T Q_s ds = \frac{4}{\sigma^2} \cdot Q_0 \int_0^{\sigma^2 T/4} e^2 (\widetilde{W}_u + zu) du = \frac{4}{\sigma^2} \cdot Q_0 \cdot A^Z_{\sigma^2 T/4} ,$$

$$z := \frac{2\nu}{\sigma} \quad , \quad \nu := \frac{1}{\sigma} \cdot \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) ,$$

$$A^\nu_T = \int_0^T e^{2(W_s + \nu s)} ds .$$

A^z_t에 대해서는, $P(A^z_t \in dx) = \varphi(t,x)dx$이 성립하며, 여기서 각각의 함수는 다음을 나타낸다.

$$\varphi(t,x)=x^{\nu-1}\frac{1}{(2\pi^3 t)^{1/2}}e^{(\frac{\pi^2}{2t}-\frac{1}{2x}-\frac{\nu^2 t}{2})}\int_0^\infty y^\nu e^{-\frac{1}{2}xy^2}\ \Upsilon_y(t)\,dy\ ,$$

$$\Upsilon_r(t)=\int_0^\infty e^{-\frac{y^2}{2t}}\cdot e^{-\gamma(\cosh\ y)}\cdot\sinh(y)\cdot\sin(\frac{\pi y}{t})dy.$$

최적화의 일계조건(FOC: First Order Condition)은 다음과 같다.

$$0=\overline{S_0}-e^{-\eta T}\cdot P\cdot E_P\left[1_{\frac{4}{\sigma^2}\cdot Q_0\cdot A^z_{\sigma^2T/4}-N_0-X_0>0}\right]$$

$$=\overline{S_0}-e^{-\eta T}\cdot P\cdot E_P\left[A^z_{\sigma^2T/4}>\frac{\delta_0\cdot\sigma^2}{4Q_0}\right]$$

$$=\overline{S_0}-e^{-\eta T}\cdot P\cdot\int_{\delta_0\cdot\sigma^2/4Q_0}^\infty P\left[A^z_{\sigma^2T/4}\in dx\right],$$

그러므로 우리는 배출권 부족분의 확률과 패널티의 함수로서 배출권가격을 표현할 수 있다.

$$\overline{S_0}=e^{-\eta T}\cdot P\cdot\int_{\delta_0\cdot\sigma^2/4Q_0}^\infty P\left[A^z_{\sigma^2T/4}\in dx\right].$$

누적 오염배출량을 이산화시켜 풀면 다음과 같다.

$$\int_0^T Q_S ds=\ Q_0 e^{\left(\mu-\frac{\sigma^2}{2}\right)\Delta t+\sigma W_{\Delta t}}\cdot\ \Delta t$$

이것을 목적함수에 대입하면, 다음과 같다.

$$H = \left\{ S_0 \cdot X_0 + e^{-\eta T} E_P \left[\left(\int_0^T Q_s ds - N_0 - X_0 \right)^+ \cdot P \mid F_0 \right] \right\}$$

$$= \left\{ S_0 \cdot X_0 + e^{-\eta T} E_P \left[\left(Q_0 e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)\Delta t + \sigma W_{\Delta t}} \cdot \Delta t - N_0 - X_0 \right)^+ \cdot P \right] \right\}$$

이에 따라 일계조건은 다음과 같다.

$$0 = \overline{S_0} - e^{-\eta T} \cdot P \cdot E_P \left[1_{Q_0 e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)\Delta t + \sigma W_{\Delta t}} \cdot \Delta t > N_0 + X_0} \right]$$

$$= \overline{S_0} - e^{-\eta T} \cdot P \cdot \Pr\left[Q_0 e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)\Delta t + \sigma W_{\Delta t}} \cdot \Delta t > N_0 + X_0 \right],$$

이것으로부터 배출권가격을 배출권 부족 확률과 패널티의 함수로 표시할 수 있다.

$$\overline{S_0} = e^{-\eta T} \left[P \cdot \Phi(d_-) \right],$$

여기서,

$$d_- = \frac{\ln(Q_0 \cdot \Delta t / \delta_0) + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\Delta t\right)}{\sigma\sqrt{\Delta t}},$$

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{u^2}{2}} du .$$

〈 부록 2 〉

다음의 목적함수를 $X_{1,\,T-\Delta t}$ 에 대해 최소화해야 한다.

$$H \equiv \left\{ S_{T-\Delta t} \cdot X_{1,\,T-\Delta t} + e^{-\eta \Delta t} E_P \left[S_T \cdot X_{1,\,T} \,|\, F_{T-\Delta t} \right] \right\}$$

이 문제의 일계조건은 다음과 같다

$$0 = \overline{S}_{T-\Delta t} - e^{-\eta \Delta t} \cdot P \cdot E_P \left[1_{\int_0^T Q_{1,\,S}\, ds \;>\; \delta_{1,\,T-\Delta t}} \,|\, F_{T-\Delta t} \right]$$

$$- e^{-\eta \Delta t} \cdot P \cdot E_P \left[1_{\delta_1,\,T-\Delta t \,>\, \int_0^T Q_{1,\,S}\, ds} \cdot 1_{\int_0^T Q_{2,\,S}\, ds \,>\, \delta_2,\,T-\Delta t} \,|\, F_{T-\Delta t} \right]$$

비대칭 정보를 활용해서 오염배출과정을 각각 이산화시키면 다음과 같다.

$$\int_0^{T-\Delta t} Q_{1,S}\, ds + Q_{1,\,T-\Delta t} \cdot e^{(\mu_1 - \frac{\sigma_1^2}{2})\cdot \Delta t + \sigma_1 W_{\Delta t}} \cdot \Delta t\,,$$

$$\int_0^{T-2\Delta t} Q_{2,S}\, ds + Q_{2,\,T-2\Delta t} \cdot e^{(\mu_2 - \frac{\sigma_2^2}{2})\cdot 2\Delta t + \sigma_2 W_{2\Delta t}} \cdot 2\Delta t\,.$$

따라서 다음이 성립한다.

$$E_P \left[1_{\int_0^T Q_{1,\,S}\, ds \;>\; \delta_{1,\,T-\Delta t}} \,|\, F_{T-\Delta t} \right] = P\left(\int_0^T Q_{1,S}\, ds \;>\; \delta_{1,\,T-\Delta t} \right) \; at \;\; T-\Delta t\,.$$

그리고 위 식의 근사치를 계산하면, 다음과 같다.

$$P\left(\int_0^T Q_{1,\,S}\,ds \;> \delta_{1,\,T-\Delta t} \right)$$

$$= P\left(\int_0^{T-\Delta t} Q_{1,S}ds + Q_{1,T-\Delta t} \cdot e^{(\mu_1 - \frac{\sigma_1^2}{2}) \cdot \Delta t + \sigma_1 W_{\Delta t}} \cdot \Delta t > \delta_{1,\,T-\Delta t} \right)$$

$$= P\left(e^{(\mu_1 - \frac{\sigma_1^2}{2}) \cdot \Delta t + \sigma_1 W_{\Delta t}} > \frac{N_{1,\,T-2\Delta t} + X_{1,T-\Delta t} - \int_0^{T-\Delta t} Q_{1,S}\,ds}{Q_{1,\,T-\Delta t} \cdot \Delta t} \right)$$

$$= P\left(-\frac{W_{\Delta t}}{\sqrt{\Delta t}} < \frac{\ln\left(\frac{Q_{1,\,T-\Delta t} \cdot \Delta t}{N_{1,\,T-2\Delta t} + X_{1,T-\Delta t} - \int_0^{T-\Delta t} Q_{1,S}\,ds} \right) + \left(\mu_1 - \frac{\sigma_1^2}{2} \right) \cdot \Delta t}{\sigma_1 \cdot \sqrt{\Delta t}} \right).$$

$$= \Phi(d_{1,\,T-\Delta t})$$

여기서,

$$d_{1,\,T-\Delta\,t} = \frac{\ln\left(\frac{Q_{1,\,T-\Delta\,t} \cdot \Delta\,t}{N_{1,\,T-2\Delta t} + X_{1,\,T-\Delta\,t} - \int_0^{T-\Delta\,t} Q_{1,\,S}\,ds} \right) + \left(\mu_1 - \frac{\sigma_1^2}{2} \right) \cdot \Delta\,t}{\sigma_1 \cdot \sqrt{\Delta\,t}},$$

$$E_P\left[1_{\delta_{1,\,T-\Delta t} > \int_0^T Q_{1,\,s}ds} \mid F_{T-\Delta\,t} \right] = P\left(\delta_{1,\,T-\Delta\,t} > \int_0^T Q_{1,\,s}ds \right) \qquad at \;\; T-\Delta\,t$$

$$= \Phi(d_{1,\,T-\Delta\,t}),$$

$$E_P\left[1_{\int_0^T Q_{2,\,s}ds > \delta_{2,\,T-\Delta t}} \mid F_{T-\Delta\,t} \right] = P\left(\int_0^T Q_{2,\,s}ds > \delta_{2,\,T-\Delta\,t} \right) \qquad at \;\; T-\Delta t$$

$$= \Phi\left(d_{2,\,T-\Delta t}^{lag,} \right),$$

$$d_{2,\,T-\Delta t}^{lag}=\frac{\ln\left(\dfrac{Q_{2,\,T-2\Delta t}\cdot 2\Delta t}{N_{2,\,T-2\Delta t}+X_{2,\,T-\Delta t}-\displaystyle\int_0^{T-2\Delta t}Q_{2,s}ds}\right)+\left(\mu_2-\dfrac{\sigma_2^2}{2}\right)\cdot 2\Delta t}{\sigma_2\cdot\sqrt{2\Delta t}}\quad .$$

이를 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\overline{S}_{T-\Delta t}&=e^{-\eta\Delta t}\cdot P\cdot E_P\left[1_{\int_0^T Q_{1,\,S}ds>\delta_{1,\,T-\Delta t}}+1_{\delta_{1,\,T-\Delta t}>\int_0^T Q_{1,\,S}ds}\cdot 1_{\int_0^T Q_{2,\,S}ds>\delta_{2,\,T-\Delta t}}|F_{T-\Delta t}\right]\\&=e^{-\eta\Delta t}\cdot P\cdot\left[\Phi(d_{1,T-\Delta t})+\Phi(-d_{1,T-\Delta t})\cdot\Phi(d_{2,T-\Delta t}^{lag})\right]\\&=e^{-\eta\Delta t}\cdot P\cdot\left[\Phi(d_{1,T-\Delta t})+\Phi(-d_{1,T-\Delta t})\cdot\left[1-\Phi(-d_{2,T-\Delta t}^{lag})\right]\right]\\&=e^{-\eta\Delta t}\cdot P\cdot\left[1-\Phi(-d_{1,\,T-\Delta t})\cdot\Phi(-d_{2,T-\Delta t}^{lag})\right]\\&=e^{-\eta\Delta t}\cdot P\cdot\left[1-P_{T-\Delta t}^{1}\right].\end{aligned}$$

< 부록 3 >

다음의 목적함수를 $X_{1,\,T-2\Delta t}$에 관해 최소화 하면

$$H\equiv\left\{S_{T-2\Delta t}\cdot X_{1,T-2\Delta t}+e^{-\eta\Delta t}E_P\left[\overline{S}_{T-\Delta t}\cdot\overline{X}_{1,T-\Delta t}+e^{-\eta\Delta t}\cdot S_T\cdot X_{1,T}|F_{T-2\Delta t}\right]\right\},$$

다음과 같은 일계조건을 얻게 된다.

$$0=S_{T-2\Delta t}+e^{-\eta\Delta t}E_P\left[\overline{S}_{T-\Delta t}\cdot\frac{\partial\overline{X}_{1,T-\Delta t}}{\partial X_{1,T-2\Delta t}}+\overline{X}_{1,T-\Delta t}\cdot\frac{\partial\overline{S}_{T-\Delta t}}{\partial X_{1T-2\Delta t}}\right].$$

그리고 $S_T=0,\mathrm{P}$ 이기 때문에, 다음이 성립한다.

$$X_{1,T} \cdot \frac{\partial S_T}{\partial X_{1,T-2\Delta t}} = 0.$$

더욱이, 비대칭정보의 존재로 인한 래그효과가 존재한다는 것을 고려하고, 포트폴리오 배분이 2단계 이후 효율적으로 조정되었다고 가정하면, $T-j\Delta t$시점에서 다음의 조건들을 얻게 된다.

$$\frac{\partial \overline{X}_{1,T-(j-1)\Delta t}}{\partial X_{1,T-j\Delta t}} = -1,\ \frac{\partial \overline{X}_{1,T-(j-k)\Delta t}}{\partial X_{1,T-j\Delta t}} = 0,\ \text{where}\ k \in [2,j]\ k \in N^{+}\ .\text{(AC1)}$$

따라서,

$$\frac{\partial \overline{X}_{1,T}}{\partial X_{1,T-2\Delta t}} = 0.$$

그리고 $X_{1,s} = -X_{2,s}$, $\forall \ \ s \in [0, T-1]$ 을 고려해서, 다음을 정의한다:

$$a_1 = \left(N_{1,T-2\Delta t} + \overline{X}_{1,T-\Delta t} - \int_0^{T-\Delta t} Q_{1,s} ds \right),$$

$$b_2^{lag} := \left(N_{2,T-2\Delta t} + \overline{X}_{2,T-\Delta t} - \int_0^{T-2\Delta t} Q_{2,s} ds \right).$$

$\partial \overline{S}_{T-\Delta t} / \partial X_{1,T-2\Delta t}$ 를 확장시키면 다음과 같다:

$$\frac{\partial \overline{S}_{T-\Delta t}}{\partial X_{1,T-2\Delta t}} = \frac{\partial}{\partial X_{1,T-2\Delta t}} \left[e^{-\eta \Delta t} \cdot P \left[1 - \Phi(-d_{1,T-\Delta t}) \cdot \Phi\left(-d_{2,T-\Delta t}^{lag}\right) \right] \right]$$

$$= e^{-\eta\Delta t} \cdot P \cdot \phi(-d_{1,\,T-\Delta t}) \cdot \frac{\partial d_{1,\,T-\Delta t}}{\partial X_{1,\,T-2\Delta t}} \cdot \Phi(-d^{lag}_{2,\,T-\Delta t})$$

$$+ e^{-\eta\Delta t} \cdot P \cdot \Phi(-d_{1,\,T-\Delta t}) \cdot \phi\left(-d^{lag}_{2,\,T-\Delta t}\right) \cdot \frac{\partial d^{lag}_{2,\,T-\Delta t}}{\partial X_{1,\,T-2\Delta t}} \ . \qquad (\mathrm{AC2})$$

수식(AC1)의 조건을 사용하여, 다음을 얻는다.

$$\frac{\partial d_{1,\,T-\Delta t}}{\partial d_{1,\,T-2\Delta t}} = \frac{1}{\sigma_1\sqrt{\Delta t}} \cdot \frac{-1}{(Q_{1,\,T-\Delta t} \cdot \Delta t)/a_1} \cdot (Q_{1,\,T-\Delta t} \cdot \Delta t) \cdot (a_1)^{-2} \cdot \frac{\partial a_1}{\partial X_{1,\,T-2\Delta t}}$$

$$= -\frac{(a_1)^{-1}}{\sigma_1\sqrt{\Delta t}} \cdot (1-1) = 0,$$

$$\frac{\partial d^{lag}_{2,\,T-\Delta t}}{\partial X_{1,\,T-2\Delta t}} = \frac{1}{\sigma_2\sqrt{2\Delta t}} \cdot \frac{-1}{(Q_{2,\,T-2\Delta t} \cdot 2\Delta t)/b^{lag}_2} \cdot (Q_{2,\,T-2\Delta t} \cdot 2\Delta t) \cdot (b^{lag}_2)^{-2} \cdot \frac{\partial b^{lag}_2}{\partial X_{1,\,T-2\Delta t}}$$

$$= \frac{(b^{lag}_2)^{-1}}{\sigma_2\sqrt{2\Delta t}} \cdot (-1+1) = 0;$$

따라서

$$\frac{\partial \overline{S}_{\,T-\Delta t}}{\partial X_{T-2\Delta t}} = 0 \ .$$

위의 결과와 조건 (AC1)을 결합하면, $T-2\Delta t$시점에서의 오염배출권의 현물가격을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\overline{S}_{\,T-2\Delta t} = e^{-\eta\Delta t} \cdot E_P\left[\overline{S}_{\,T-\Delta t} \mid F_{T-2\Delta t}\right]$$

$$= e^{-\eta\Delta t} \cdot E_P\left\{e^{-\eta\Delta t} \cdot P \cdot \left[1-\Phi(-d_{1,\,T-\Delta t}) \cdot \Phi(-d^{lag}_{2,\,T-\Delta t})\right] \mid F_{T-2\Delta t}\right\}$$

$$= e^{-\eta\Delta t} \cdot P \cdot \left\{1 - E_P\left[\Phi(-d_{1,\,T-\Delta t}) \cdot \Phi(-d^{lag}_{2,\,T-\Delta t})\right] F_{T-2\Delta t}\right\} \ .$$

마찬가지로, 기업$i=2$에 해당하는 최소화문제를 풂으로써 다음을 얻을 수 있다

$$\begin{aligned}\overline{S}_{T-2\Delta t} &= e^{-\eta\Delta t}\cdot E_P\left[\overline{S}_{T-\Delta t}|F_{T-2\Delta t}\right]\\ &= e^{-\eta\Delta t}\cdot E_P\left\{e^{-\eta\Delta t}\cdot P\cdot\left[1-\Phi(-d_{2,T-\Delta t})\cdot\Phi(-d^{lag}_{1,T-\Delta t})\right]|F_{T-2\Delta t}\right\}\\ &= e^{-\eta\Delta t}\cdot P\cdot\left\{1-E_P\left[\Phi(-d_{2,T-\Delta t})\cdot\Phi(-d^{lag}_{1,T-\Delta t})|F_{T-2\Delta t}\right]\right\}.\end{aligned}$$

이러한 과정을 일반화하여, $T-j\Delta t$ 시점에서 $X_{1,T-j\Delta t}$에 관하여 다음의 목적함수를 최소화하는 최적화문제를 상정할 수 있다

$$\begin{aligned}H= & S_{T-j\Delta t}\cdot X_{1,T-j\Delta t}\\ & + e^{-\eta\Delta t}E_P\left[\sum_{h=1}^{j}e^{-\eta(h-1)\Delta t}\overline{S}_{T-(j-h)\Delta t}\cdot\overline{X}_{1,T-(j-k)\Delta t}|F_{T-j\Delta t}\right].\end{aligned}$$

위의 일반화 최적화문제의 1계조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}0= & S_{T-j\Delta t}\cdot\frac{\partial\overline{X}_{1,T-j\Delta t}}{\partial\overline{X}_{1,T-j\Delta t}}\\ & + e^{-\eta\Delta t}E_P\left[\begin{array}{l}\displaystyle\sum_{h=1}^{j}e^{-\eta(h-1)\Delta t}\overline{S}_{T-(j-h)\Delta t}\cdot\frac{\partial\overline{X}_{1,T-(j-h)\Delta t}}{\partial\overline{X}_{1,T-j\Delta t}}\\ +\overline{X}_{1,T-(j-h)\Delta t}\cdot\dfrac{\partial\overline{S}_{1,T-(j-h)\Delta t}}{\partial\overline{X}_{1,T-j\Delta t}}|F_{T-j\Delta t}\end{array}\right]\end{aligned}$$

그리고 조건(AC1)과 수식(AC2)를 사용하여, 좀 더 정리하면 다음과 같다:

$$0=\overline{S}_{T-j\Delta t}-e^{-\eta\Delta t}E_P\left[\overline{S}_{T-(j-1)\Delta t}|F_{T-j\Delta t}\right].$$

위식을 좀 더 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\bar{S}_{T-j\Delta t} &= e^{-\eta\Delta t} E_P\left[\bar{S}_{T-(j-1)\Delta t} \mid F_{T-j\Delta t}\right] \\ &= e^{-\eta\Delta t} E_P\left[e^{-\eta(j-1)\Delta t} \cdot P \cdot \left\{1 - E_P\left[\Phi(-d_{1,T-\Delta t}) \cdot \Phi(-d^{lag}_{2,T-\Delta t}) \mid F_{T-(j-1)\Delta t}\right]\right\} \mid F_{T-j\Delta t}\right] \\ &= e^{-\eta\Delta t} E_P\left[e^{-\eta(j-1)\Delta t} \cdot P \cdot \left\{1 - E_P\left[\Phi(-d_{1,T-\Delta t}\right] \cdot \Phi(-d^{lag}_{2,T-\Delta t}) \mid F_{T-j\Delta t}\right\}\right].\end{aligned}$$

〈 부록 4 〉

$J = 1, 2, \cdots, \mathrm{I}$는 회사들의 집합으로 정의한다. 개별기업 i는 자신의 누적오염배출량은 관찰 가능하지만, 다른 기업들($I^- := J - i$)의 누적오염배출량은 한 시점 지나서 관찰가능하다고 가정함으로써 기업들간의 누적오염배출량에 대한 비대칭정보를 도입한다. 다시점, 다기업 환경에서의 배출권가격은 각 시점 $k \in [1, 2, \cdots, T/\Delta t]$에서 I개의 최소화문제를 푸는 과정에서 도출된다. Brigo et al.(2002)에 따라, 누적오염배출량과정 $Q_{I^-,t} = \sum_{j=1, j\neq i}^{I} Q_{j,t}$을 새로운 기하브라운운동으로 근사시킬 수 있고, I개의 배출권가격 공식을 도출할 수 있다.

$$\bar{S}_{T-k\Delta t} = e^{-\eta k\Delta t} \cdot P \cdot \left\{1 - E_P\left[\Phi\left(-d_{i,T-\Delta t}\right) \cdot \Phi\left(-d^{lag}_{I^-,T-\Delta t}\right) \mid F_{T-k\Delta t}\right]\right\},$$

여기서,

$$d_{i,T-\Delta t} = \frac{\ln\left(\dfrac{Q_{i,T-\Delta t} \cdot \Delta t}{N_{i,T-2\Delta t} + X_{i,T-\Delta t} - \displaystyle\int_0^{T-\Delta t} Q_{I^-,S}\, ds}\right) + \left(\mu_i - \dfrac{\sigma_i^2}{2}\right) \cdot \Delta t}{\sigma_i \cdot \sqrt{\Delta t}},$$

$$d^{lag}_{I^-,T-\Delta t}=\frac{\ln\left(\dfrac{Q_{I^-,T-2\Delta t}\cdot 2\Delta t}{N_{I^-,T-2\Delta t}+X_{I^-,T-\Delta t}-\int_0^{T-2\Delta t}Q_{I^-,s}ds}\right)+\left(\mu_{I^-}-\dfrac{\sigma^2_{I^-}}{2}\right)\cdot 2\Delta t}{\sigma_{I^-}\cdot\sqrt{2\Delta t}}\ .$$

고정 표류항과 고정 변동성 $\{\mu,\sigma\}\in R^I$, 표준적인 모멘트 방법을 활용하여 새로운 기하브라운운동의 파라미터들을 결정할 수 있다.

$$\frac{dQ_{I^-,t}}{Q_{I^-,t}}=\mu_{I^-}dt+\sigma_{I^-}dW_{I^-,t}\ ,$$

여기서, W_{I^-}는 표준적인 브라운운동이고,

$$\mu^2_{I^-}=\frac{1}{t}\ln\left(\frac{\Sigma^I_{j=1,j\neq i}Q_{j,0}e^{\mu_j t}}{\Sigma^I_{j=1,j\neq i}Q_{j,0}}\right),$$

$$\sigma^2_{I^-}=\frac{1}{t}\ln\left(\frac{\Sigma^I_{j,k=1,j,k\neq i}Q_{k,0}Q_{j,0}e^{(\mu_k+\mu_j+p_{k,j}\sigma_k\sigma_j)t}}{\left(\Sigma^I_{j=1}Q_{j,0}e^{\mu_j t}\right)^2}\right)\ .$$

따라서, I개의 식으로 구성된 연립방정식시스템을 풂으로써 배출권가격을 구할 수 있게 된다. 좀 더 엄밀하게 얘기하자면, 각 시점 $k\in[1,2,\cdots,T/\Delta t]$에서 다음의 $I-1$개의 등식을 만족하는 배출권을 수치해석적으로 구하게 된다: 시장청산조건 $\sum^I_{i=1}\overline{X_{i,T-k\Delta t}}=0$, I개의 오염배출과정을 묘사하는 파라미터들의 집합($\{\mu,\sigma,Q_0,N_0\}\in R^I$) 등이 주어진 전제 하에서, 다음의 기업 $\{i,j\}\in J$ and $i\neq j$에 대해서,

$$E_P\left[\Phi(-d_{i,T-\Delta t})\cdot\Phi(-d^{lag}_{I^-,T-\Delta t})|F_{T-k\Delta t}\right]=E_P\left[\Phi(-d_{j,T-\Delta t})\cdot\Phi(-d^{lag}_{I^-,T-\Delta t})|F_{T-k\Delta t}\right].$$

〈 부록 5 〉

한 가지 흥미로운 점은 배출권가격의 운동과 표준브라운운동과의 비교이다. 기업 1의 관점에서 다음 표기를 도입하기로 하자.

$$\Phi(-d_{1,T-\Delta t})\cdot\Phi(-d^{lag}_{2,T-\Delta t}) := H$$

$$\begin{aligned}
&\frac{\Delta S_{T-(k+1)\Delta t}}{S_{T-(k+1)\Delta t}} \\
&= \frac{e^{-\eta k\Delta t}\cdot P\cdot\{1-E_P[H|F_{T-k\Delta t}]\}-e^{-\eta(k+1)\Delta t}\cdot P\cdot\{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]\}}{e^{-\eta(k+1)\Delta t}\cdot P\cdot\{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]\}} \\
&= \frac{1-E_P[H|F_{T-k\Delta t}]-e^{-\eta\Delta t}\{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]\}}{e^{-\eta\Delta t}\cdot\{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]\}} \\
&\approx \frac{1-E_P[H|F_{T-k\Delta t}]-(1-\eta\Delta t)\cdot\{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]\}}{(1-\eta\Delta t)\cdot\{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]\}} \\
&\approx \frac{\{1-E_P[H|F_{T-k\Delta t}]\}-\{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]\}+\eta\Delta t\cdot\{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]\}}{(1-\eta\Delta t)\cdot\{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]\}} \\
&\approx \left\{\eta\Delta t+\frac{\{1-E_P[H|F_{T-k\Delta t}]\}-\{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]\}}{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]}\right\}(1-\eta\Delta t)^{-1} \\
&\approx \left\{\eta\Delta t+\frac{\Delta\{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]\}}{1-E_P[H|F_{T-(k+1)\Delta t}]}\right\}(1-\eta\Delta t)^{-1} \\
&\approx \left\{\eta\Delta t+\frac{\Delta \mathrm{Pr}_{T-(k+1)\Delta t}}{\mathrm{Pr}_{T-(k+1)\Delta t}}\right\}
\end{aligned}$$

여기서, Pr은 기업 1의 관점에서 배출권 부족에 직면할 확률을 의미한다. 위 식을 일반적인 개별 기업의 관점에서 일반적인 시점 t 와 $S_t < e^{\eta t}$ 에 대해서 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\Delta S_t}{S_t} \approx \frac{\Delta \mathrm{Pr}_t}{\mathrm{Pr}_t} + \eta\Delta t\ .$$

배출권 부족상황에 처할 확률의 증가$\left(\frac{\Delta \mathrm{Pr}_t}{\mathrm{Pr}_t} > 0\right)$는 배출권의 가격상승을 초래하게 된다. 이러한 운동과정은 표준브라운운동과는 상당히 차이가 있다. 좀 더 구체적으로 표현해보면 다음과 같다.

$$\frac{\triangle \mathrm{Pr}_t}{\mathrm{Pr}_t} = \frac{\mathrm{Pr}_{t+\triangle t} - \mathrm{Pr}_t}{\mathrm{Pr}_t}$$

$$\approx \frac{1 - \int_0^{(\delta^1_{t+\Delta t} - \int_0^{t+\Delta t} Q^1_u du)\sigma_1^2/4Q_0^1} \phi\left(\frac{\sigma_1^2(T-(t+\triangle t))}{4}, x\right)dx \cdot \int_0^{(\delta^2_{t+\Delta t} - \int_0^{t} Q^2_u du)\sigma_2^2/4Q_0^2} \phi\left(\frac{\sigma_2^2(T-(t+\triangle t))}{4}, x\right)dx}{1 - \int_0^{(\delta^1_{t} - \int_0^{t} Q^1_u du)\sigma_1^2/4Q_0^1} \phi\left(\frac{\sigma_1^2(T-t)}{4}, x\right)dx \cdot \int_0^{(\delta^2_{t} - \int_0^{t-\Delta t} Q^2_u du)\sigma_2^2/4Q_0^2} \phi\left(\frac{\sigma_2^2(T-t)}{4}, x\right)dx} - 1.$$

보험연구원(KIRI) 발간물 안내

■연구보고서

2006-1 보험회사의 은행업 진출 방안 / 류근옥 2006.1

2006-2 보험시장의 퇴출 분석과 규제개선방향 / 김헌수 2006.3

2006-3 보험지주회사제도 도입 및 활용방안 / 안철경, 이상우 2006.8

2006-4 보험회사의 리스크공시체계에 관한 연구 / 류건식, 이경희 2006.12

2007-1 국제보험회계기준도입에 따른 영향 및 대응방안 / 이장희, 김동겸 2007.1

2007-2 민영건강보험료율 결정요인 분석 / 조용운, 기승도 2007.3

2007-3 퇴직연금 손·익 위험 관리전략에 관한 연구 / 성주호 2007.3

2007-4 확률적 프런티어 방법론을 이용한 손해보험사의 기술효율성 측정 / 지홍민 2007.3

2007-5 금융겸업화에 대응한 보험회사의 채널전략 / 안철경, 기승도 2008.1

2008-1 보험회사의 리스크 중심 경영전략에 관한 연구 / 최영목, 장동식, 김동겸 2008.1

2008-2 한국 보험시장과 공정거래법 / 정호열 2008.3

2008-3 확정급여형 퇴직연금의 자산운용 / 류건식, 이경희, 김동겸 2008.3

2009-1 보험설계사의 특성분석과 고능률화 방안/ 안철경, 권오경 2009.1

2009-2 자동차사고의 사회적 비용 최소화 방안 / 기승도 2009.1

2009-3 우리나라 가계부채 문제의 진단과 평가 / 유경원, 이혜은 2009.3

■ 조사보고서

2006-1	2006년도 보험소비자 설문조사 / 김세환, 조재현, 박정희 2006.3
2006-2	주요국 방카슈랑스의 운용사례 및 시사점 / 류건식, 김석영, 이상우, 박정희, 김동겸 2006.7
2007-1	보험회사 경영성과 분석모형에 관한 비교연구 / 류건식, 장이규, 이경희, 김동겸 2007.3
2007-2	보험회사 브랜드 전략의 필요성 및 시사점 / 최영목, 박정희 2007.3
2007-3	2007년 보험소비자 설문조사 / 안철경, 기승도, 오승철 2007.3
2007-4	주요국의 퇴직연금개혁 특징과 시사점 / 류건식, 이상우 2007.4
2007-5	지적재산권 리스크 관리를 위한 보험제도 활용방안 / 이기형 2007.10
2008-1	보험회사 글로벌화를 위한 해외보험시장 조사 / 양성문, 김진억, 지재원, 박정희, 김세중 2008.2
2008-2	노인장기요양보험 제도 도입에 대응한 장기간병보험 운영 방안 / 오영수 2008.3
2008-3	2008년 보험소비자 설문조사 / 안철경, 기승도, 이상우 2008.4
2008-4	주요국의 보험상품 판매권유 규제 / 이상우 2008.3
2009-1	2009년 보험소비자 설문조사 / 안철경, 이상우, 권오경 2009.3
2009-2	Solvency II의 리스크평가모형 및 측정방법 연구 / 장동식 2009.3
2009-3	이슬람 보험시장 진출방안 / 이진면, 이정환, 최이섭, 정중영, 최태영 2009.3
2009-4	미국 생명보험 정산거래의 현황과 시사점 / 김해식 2009.3
2009-6	복합금융 그룹의 리스크와 감독 / 이민환, 전선애, 최원 2009.4
2009-7	보험산업 글로벌화를 위한 정책적 지원방안 / 서대교, 오영수, 김영진 2009.4
2009-8	구조화금융 관점에서 본 금융위기 분석 및 시사점 / 임준환, 이민환, 윤건용, 최원 2009.7
2009-9	보험리스크 측정 및 평가 방법에 관한 연구 / 조용운, 김세환, 김세중 2009.7

■ 정책보고서

2006-1	2007년도 보험산업 전망과 과제 / 동향분석팀 2006.12
2006-2	의료리스크 관리의 선진화를 위한 의료배상보험에 대한 연구 / 차일권, 오승철 2006.12
2007-1	퇴직연금 수탁자리스크 감독방안 / 류건식, 이경희 2007.2
2007-2	보험상품의 불완전판매 개선방안 / 차일권, 이상우 2007.3
2007-3	퇴직연금 지급보증제도의 요율체계에 관한 연구:미국과 영국을 중심으로/ 이봉주 2007.3
2007-4	보험고객정보의 이용과 프라이버시 보호의 상충문제 해소방안 / 김성태 2007.3
2007-5	방카슈랑스가 보험산업에 미치는 영향 분석 / 안철경, 기승도, 이경희 2007.4
2007-6	2008년도 보험산업 전망과 과제 / 양성문, 김진억, 지재원, 박정희, 김세중 2007.12
2008-1	민영건강보험 운영체계 개선방안 연구 / 조용운, 김세환 2008.3
2008-2	환경오염리스크관리를 위한 보험제도 활용방안 / 이기형 2008.3
2008-3	금융상품의 정의 및 분류에 관한 연구 / 유지호, 최원 2008.3
2008-4	2009년도 보험산업 전망과 과제 / 이진면, 이태열, 신종협, 황진태, 유진아, 김세환, 이정환, 박정희, 김세중, 최이섭 2008.11
2009-1	현 금융위기 진단과 위기극복을 위한 정책제언 / 진익, 이민환, 유경원, 최영목, 최형선, 최원, 이경아, 이혜은 2009.2
2009-2	퇴직연금의 급여 지급 방식 다양화 방안 / 이경희 2009.3
2009-3	보험분쟁의 재판외적 해결 활성화 방안 / 오영수, 김경환, 이종욱 2009.3

■ 경영보고서

2009-1 기업휴지보험 활성화 방안 연구 / 이기형, 한상용 2009.3

2009-2 자산관리서비스 활성화 방안 / 진익 2009.3

■ 연구논문집

1호 보험산업의 규제와 감독제도의 미래 / Harold D. Skipper, Robert W. Klein, Martin F. Grace 1997.6

2호 세계보험시장의 변화와 대응방안 / D. Farny, 전천관, J. E. Johnson, 조해균 1998.3

3호 제1회 전국대학생 보험현상논문집 1998.11

4호 제2회 전국대학생 보험현상논문집 1999.12

■ 영문발간물

1호	Environment Changes in the Korean Insurance Industry in Recent Years : Institutional Improvement, Deregulation and Liberalization / Hokyung Kim, Sango Park, 1995.5
2호	Korean Insurance Industry 2000 / Insurance Research Center, 2001.4
3호	Korean Insurance Industry 2001 / Insurance Research Center, 2002.2
4호	Korean Insurance Industry 2002 / Insurance Research Center, 2003.2
5호	Korean Insurance Industry 2003 / Insurance Research Center, 2004.2
6호	Korean Insurance Industry 2004 / Insurance Research Center, 2005.2
7호	Korean Insurance Industry 2005 / Insurance Research Center, 2005.8
8호	Korean Insurance Industry 2006 / Insurance Research Center, 2006.10
9호	Korean Insurance Industry 2007 / Insurance Research Center, 2007.9
10호	Korean Insurance Industry 2008 / Korea Insurance Research Institute, 2008.9

■ Insurance Business Report

20호 선진 보험사 재무공시 특징 및 트렌드(유럽 및 캐나다를 중심으로) / 장이규 2006.11

21호 지급여력 평가모형 트렌드 및 국제비교 / 류건식, 장이규 2006.11

22호 선진보험그룹 글로벌화 추세와 시사점 / 안철경, 오승철 2006.12

23호 미국과 영국의 손해보험 직판시장 동향분석 및 시사점 / 안철경, 기승도 2007.7

24호 보험회사의 자본비용 추정과 활용: 손해보험회사를 중심으로 / 이경희 2007.7

25호 영국손해보험의 행위규제 적용과 영향 / 이기형, 박정희 2007.9

26호 퇴직연금 중심의 근로자 노후소득보장 과제 / 류건식, 김동겸 2008.2

27호 보험부채의 리스크마진 측정 및 적용 사례 / 이경희 2008.6

28호 일본 금융상품판매법의 주요내용과 보험산업에 대한 영향 / 이기형 2008.6

29호 보험회사의 노인장기요양 사업 진출 방안 / 오영수 2008.6

30호 교차모집제도의 활용의향 분석 / 안철경, 권오경 2008.7

31호 퇴직연금 국제회계기준의 도입영향과 대응과제 / 류건식, 김동겸 2008.7

32호 보험회사의 헤지펀드 활용방안 / 진익 2008.7

33호 연금보험의 확대와 보험회사의 대응과제 / 이경희, 서성민 2008.9

■ CEO Report

2006-1 생보사 개인연금보험 생존리스크 분석 및 시사점 / 생명보험본부 2006.1

2006-2 보험회사의 퇴직연금 운용전략 / 보험연구소 2006.1

2006-3 생보사 FY2006 손익 전망 및 분석 / 생명보험본부 2006.2

2006-4 의무보험제도의 현황과 과제 / 손해보험본부 2006.2

2006-5 자동차보험 지급준비금 분석 및 과제 / 자동차보험본부 2006.3

2006-6 보험사기 관리실태와 대응전략 / 정보통계본부 2006.3

2006-7 자동차보험 의료비 지급 적정화 방안 / 자동차보험본부 2006.3

2006-8 자동차보험시장 동향 및 전망 / 자동차보험본부 2006.4

2006-9 날씨위험에 대한 손해보험회사의 역할 강화 방안 / 손해보험본부 2006.4

2006-10 장기손해보험 상품운용전략 -손익관리를 중심으로- / 손해보험본부 2006.5

2006-11 자동차 중고부품 활성화 방안 / 자동차기술연구소 2006.5

2006-12 장기간병보험시장의 활성화를 위한 상품개발 방향 / 보험연구소 2006.6

2006-13 보험산업 소액지급결제시스템 참여방안 / 보험연구소 2006.7

2006-14 생명보험 가입형태별 위험수준 분석 / 리스크·통계관리실 2006.8

2006-15「민영의료보험법」제정(안)에 대한 검토 / 보험연구소 2006.9

2006-16 모기지보험의 시장규모 및 운영방안 / 손해보험본부 2006.9

2006-17 생명보험 상품별 가입 현황 분석 / 생명보험본부 2006.10

2006-18 자동차보험 온라인시장의 성장 및 시사점 / 자동차보험본부 2006.10

2007-1	퇴직연금제 시행 1년 평가 및 보험회사 대응과제 / 보험연구소 2007.4
2007-2	외국의 협력정비공장제도 운영현황과 전략적 시사점 / 자동차기술연구소 2007.4
2007-3	예금보험제 개선안의 문제점 및 과제 / 보험연구소 2007.6
2007-4	자본시장통합법 이후 보험산업의 진로 / 보험연구소 2007.7
2007-5	방카슈랑스 확대 시행과 관련한 주요 이슈 검토 / 보험연구소 2007.11
2007-6	자동차보험 시장변화와 전략적 시사점 / 자동차보험본부 2007.11
2008-1	자동차보험 물적담보 손해율 관리 방안 / 기승도 2008.6
2008-2	보험산업 소액지급결제시스템 참여 관련 주요 이슈 / 이태열 2008.6
2008-3	FY2008 수입보험료 전망 / 동향분석실 2008.8
2008-4	퇴직급여보장법 개정안의 영향과 보험회사 대응과제 / 류건식, 서성민 2008.12
2009-1	FY2009 보험산업 수정전망과 대응과제 / 동향분석실 2009.2
2009-2	퇴직연금 예금보험요율 적용의 타당성 검토 / 류건식, 김동겸 2009.3
2009-3	퇴직연금 사업자 관련규제의 적정성 검토 / 류건식, 이상우 2009.6

정기간행물

■ 계간

○ 보험동향
○ 보험금융연구

『도서회원 가입안내』

회원 및 제공자료

	법인회원	특별회원	개인회원	연속간행물 구독회원
연회비	₩ 300,000원	₩ 150,000원	₩ 150,000원	간행물별로 다름
제공자료	- 연구보고서 - 정책/경영보고서 - 조사보고서 - 기타보고서 -연속간행물 ・보험금융연구 ・보험동향(계간)	- 연구보고서 - 정책/경영보고서 - 조사보고서 - 기타보고서 -연속간행물 ・보험금융연구 ・보험동향(계간)	- 연구보고서 - 정책/경영보고서 - 조사보고서 - 기타보고서 -연속간행물 ・보험금융연구 ・보험동향(계간)	-보험금융연구 (년3회 ₩ 30,000) -보험통계월보 (월간 ₩ 50,000) -보험동향 (계간 ₩ 20,000)
	-본원 주최 각종 세미나 및 공청회 자료 -보험통계월보 -손해보험통계연보	-보험통계월보 -손해보험통계연보	-	

※ 특별회원 가입대상 : 도서관 및 독서진흥법에 의하여 설립된 공공도서관 및 대학도서관

가입문의

보험연구원 도서회원 담당
전화 : (02)3775-9115, 9080 팩스 : (02)3775-9102

회비납입방법

- 무통장입금 : 국민은행 (400401-01-125198)
  예금주 : 보험연구원
- 지로번호 : 6360647

가입절차

보험연구원 홈페이지(www.kiri.or.kr)에 접속 후 도서회원가입신청서를 작성・등록 후 회비입금을 하시면 확인 후 1년간 회원자격이 주어집니다.

자료구입처

서울 : 보험연구원 보험자료실, 교보문고, 영풍문고, 반디앤루니스
부산 : 영광도서

저 자 약 력

진 익

Rice University 경제학박사

현 보험연구원 재무연구실장

(E-mail : realwing@kiri.or.kr)

유 시 용

Cornell University 경제학박사

현 중앙대학교 경영학과 부교수

(E-mail : sy61@cau.ac.kr)

이 경 아

서울대학교 경영학석사

현 보험연구원 금융제도실 연구원

(E-mail : lka@kiri.or.kr)

경영보고서 2009-03

탄소 배출권 및 녹색보험 활성화 방안

발 행 일 2009년 3월 일

발 행 인 나 동 민

발 행 처 보 험 연 구 원

서울특별시 영등포구 여의도동 35-4

대표전화 (02) 368-4400

ISBN 978-89-5710-079-0 정가 10,000