Wada, H. 2000. "Safety analysis methods and applications at the design stage of new product development-Introducing the FMFEA and S-H Matrix Method." Special issue: safety analysis and testing standards of ESPEC Technology Report 10:1-7.

부 록

I. 식 (6)의 유도

식 (6)에서 계수 b_{ij}에 관련된 항들의 적분결과를 정리하면

$$\bullet \int_0^\infty \int_0^u \int_0^\delta (\delta - t)\lambda_{ijk}e^{-\lambda_{ijk}t}\mu_{ijk}e^{-\mu_{ijk}\delta}\alpha_{ij}e^{-\alpha_{ij}u}\ dt\ d\delta\ du \tag{a}$$
$$= -\frac{\alpha_{ij}}{(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})^2} + \frac{1}{\mu_{ijk}} - \frac{\alpha_{ij}}{\mu_{ijk}(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})} - \frac{1}{\lambda_{ijk}} + \frac{\alpha_{ij}}{\lambda_{ijk}(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})}$$
$$+ \frac{\mu_{ijk}}{\lambda_{ijk}(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})} - \frac{\mu_{ijk}\alpha_{ij}}{\lambda_{ijk}(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk}+\alpha_{ij})}$$

$$\bullet \int_0^\infty \int_u^\infty \int_{\delta-u}^\delta (\delta - t)\lambda_{ijk}e^{-\lambda_{ijk}t}\mu_{ijk}e^{-\mu_{ijk}\delta}\alpha_{ij}e^{-\alpha_{ij}u}\ dt\ d\delta\ du$$
$$= \frac{\mu_{ijk}\alpha_{ij}}{(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})+(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})^2} - \frac{\mu_{ijk}+\alpha_{ij}}{\lambda_{ijk}(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})} + \frac{\mu_{ijk}+\alpha_{ij}}{\lambda_{ijk}(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk}+\alpha_{ij})} \tag{b}$$

$$\bullet \int_0^\infty \int_u^\infty \int_0^{\delta-u} u\lambda_{ijk}e^{-\lambda_{ijk}t}\mu_{ijk}e^{-\mu_{ijk}\delta}\alpha_{ij}e^{-\alpha_{ij}u}\ dt\ d\delta\ du \tag{c}$$
$$= \frac{\alpha_{ij}}{(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})^2} - \frac{\mu_{ijk}\alpha_{ij}}{(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})^2}$$

이고 계수 c_i에 관련된 항의 적분 결과는

- $$\int_0^\infty \int_u^\infty \int_0^{\delta-u} (\delta - t - u)\lambda_{ijk} e^{-\lambda_{ijk}t} \mu_{ijk} e^{-\mu_{ijk}\delta} \alpha_{ij} e^{-\alpha_{ij}u} dt\, d\delta\, du = \frac{\lambda_{ijk}\alpha_{ij}}{\mu_{ijk}(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})} \qquad \text{(d)}$$

이므로 (a)~(d)항을 다시 정리함으로써 식 (6)을 얻을 수 있다.

II. 식 (7)의 유도

식 (7)의 b_{ij}에 관련된 항들의 적분 결과를 정리하면

- $$\int_0^\infty \int_0^u \int_0^\delta (\delta - t)^2 \lambda_{ijk} e^{-\lambda_{ijk}t} \mu_{ijk} e^{-\mu_{ijk}\delta} \alpha_{ij} e^{-\alpha_{ij}u}\, dt\, d\delta\, du \qquad \text{(e)}$$
$$= -\frac{2\alpha_{ij}}{(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})^3} - \frac{2\alpha_{ij}}{\mu_{ijk}(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})^2} - \frac{2\alpha_{ij}}{\mu_{ijk}^2(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})} + \frac{2}{\mu_{ijk}^2} + \frac{2\alpha_{ij}}{\lambda_{ijk}(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})^2}$$
$$- \frac{2}{\lambda_{ijk}\mu_{ijk}} + \frac{2\alpha_{ij}}{\lambda_{ijk}\mu_{ijk}(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})} - \frac{2\mu_{ijk}}{\lambda_{ijk}^2(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})} - \frac{2\alpha_{ij}}{\lambda_{ijk}^2(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})} + \frac{2}{\lambda_{ijk}^2}$$

- $$\int_0^\infty \int_u^\infty \int_{\delta-u}^\delta (d - t)^2 \lambda_{ijk} e^{-\lambda_{ijk}t} \mu_{ijk} e^{-\mu_{ijk}\delta} \alpha_{ij} e^{-\alpha_{ij}u}\, dt\, d\delta\, du$$
$$= \frac{2\mu_{ijk}\alpha_{ij}}{(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})^3} - \frac{2\mu_{ijk}\alpha_{ij}}{\lambda_{ijk}(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})^2} + \frac{2\mu_{ijk}\alpha_{ij}}{\lambda_{ijk}^2(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})}$$

(f)

- $$\int_0^\infty \int_u^\infty \int_0^{\delta-u} u^2 \lambda_{ijk} e^{-\lambda_{ijk}t} \mu_{ijk} e^{-\mu_{ijk}\delta} \alpha_{ij} e^{-\alpha_{ij}u}\, dt\, d\delta\, du \qquad \text{(g)}$$
$$= \frac{2\alpha_{ij}}{(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})^3} - \frac{2\mu_{ijk}\alpha_{ij}}{(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})^3}$$

이고 계수 c_i에 관련된 항의 적분 결과는

- $$\int_0^\infty \int_u^\infty \int_0^{\delta-u} (\delta-t-u)^2 \lambda_{ijk} e^{-\lambda_{ijk}t} \mu_{ijk} e^{-\mu_{ijk}\delta} \alpha_{ij} e^{-\alpha_{ij}u}\, dt\, d\delta\, du = \frac{2\lambda_{ijk}\alpha_{ij}}{\mu_{ijk}^2(\mu_{ijk}+\lambda_{ijk})(\mu_{ijk}+\alpha_{ij})} \quad \text{(h)}$$

이므로 (e)~(h)항을 다시 정리함으로써 식 (7)을 얻을 수 있다.