

## 섬유공업에의 산업공학 응용

### 제1부 통계적 모델을 이용한 최적 담당기계대수의 결정

#### 제1장 서론

한 작업자가 여러 대의 동종기계를 돌보는 경우가 섬유공업에서는 허다하다. 이러한 경우의 예로서 면방직 공장의 제직틀보기는 품종에 따라 다르기는 하나 상당히 많은 수의 직기를 한 사람이 담당하고 있다.

여기서 제기되는 중요한 문제점은 작업자 1인당 몇 대의 기계를 담당케 하는 것이 가장 효과적이나 하는 점이다. 만약 1인당 담당기계대수가 너무 많으면 작업자는 매우 바쁘게 되고, 따라서 직기는 수리(운전도중에 경사절, 위사절 또는 기타의 사고로 기계가 정지된 것을 손질하며 다시 운전하는 것)를 하기까지 오랜 시간 동안 정지해 있어야만 한다. 또 만약 담당기계대수가 너무 적으면 작업자는 기계를 실제로 수리하는데에 보다 기계가 정지하는 것을 기다리는데 더 많은 근무시간을 소비하게 될 것이다. 이들 2가지 극단의 경우는 매우 비실용적이며, 가능한한 최선의 결정이 되도록 이 2가지 방안을 절충하는 것이 필요하다.

Ashcroft는 이들 문제점을 해결하기 위하여 실용적(economic) 모델을 제안했으나 그는 그의 제안에 대하여 합리적인 설명을 하지 못했다. 제1부에서는 Ashcroft의 제안들을 상세히 다루고, 그 응용범위를 보다 넓혀 보고자 한다. 특히 여러 가지 시스템 변수값 하에서의 작업자 1인당 최적담당기계대수를 구할 수 있는 표를 제시했다.

#### 제2장 통계적 모델

한 작업자가  $N$ 대의 기계를 담당하고 있고, 시간( $t, t+h$ ) 사이에 각 기계가

정지할 확률은  $\lambda h$ 라고 가정하자(단,  $h \rightarrow 0$ ,  $\lambda$ : 단위시간당 기계정지회수). 이는 기계의 정지가 포아송(Poisson) 분포를 따른다는 가정과 같다. 이들 가정이 실제기계정지상황과 매우 잘 일치함은 실제관찰이 잘 입증해 주고 있으며, 또  $N$ 의 값이 클 때에는 이들 가정에 대한 이론적인 설명도 가능하다. 그리고 정지된 기계들은 수리를 하기 위하여 대기 행렬을 형성하고, 각 수리시간은 서로 독립이라고 가정한다. 이제까지의 연구들에서는 수리시간의 분포로서 (가)일정수리시간 (나)확률밀도가  $\mu e^{-\mu t}$ 인 지수(exponent) 법칙에 따르는 수리시간의 2종류를 고려해왔다. 이들 분포함수의 변동계수  $\gamma$  (= 표준편차/평균)는 각각 0과 1이다.

변동계수가 0 또는 1인 경우도 유용하지만 변동계수가 일반적인 경우가 보다 유용하다. 수학적인 면에서는 일반적인 수리시간을 가정하는 것이 보다 다루기 어려우나, 수리시간이 얼랑(Erlang) 분포를 따른다고 가정함으로써 대부분의 실제수리상황을 나타낼 수 있다.

따라서 여기서는 밀도함수로서 다음의 2가지를 고려하자. 그 첫번째는,

$$P_1(t) = \frac{k\mu(k\mu t)^{k-1} e^{-k\mu t}}{(k-1)!} (t \geq 0) \dots \dots \dots (1-1)$$

단,  $k$ : 양의정수

로서, 이 밀도함수는  $k$ 의 값에 관계없이 일정한 평균값  $\mu^{-1}$ 를 가지며, 변동계수  $\gamma$ 는  $k$ 의 값에 따라 변하며  $\gamma = 1/\sqrt{k} \dots (1-2)$ 이다.

더 나아가  $k=1$ 이면 지수분포가 되면  $k \rightarrow \infty$ 이면 일정수리시간과 거의 일치하게 된다. 따라서 식(1-1)은 변동계수가 0과 1사이인 분포의 경우에 적합함을 알 수 있다.

두번째는,

$$P_2(t) = \xi \mu_1 e^{-\mu_1 t} + (1-\xi) \mu_2 e^{-\mu_2 t} (t \geq 0) \dots \dots \dots (1-3)$$

단,  $0 < \xi < 1$

로서  $\xi, \mu_1, \mu_2$ 가 변함에 따라 이 함수는 다음과 같은 성질의 분포특성을 가진다.

$$\text{평균} = \frac{\xi}{\mu_1} + \frac{(1-\xi)}{\mu_2} \dots\dots\dots(1-4)$$

$$\gamma = \frac{\sqrt{\frac{\xi}{\mu_1^2} + \frac{(1-\xi)}{\mu_2^2}}}{\frac{\xi}{\mu_1} + \frac{(1-\xi)}{\mu_2}} \dots\dots\dots(1-5)$$

식(1-5)로부터  $\gamma > 1$ 임을 쉽게 알 수 있다.  $\xi, \mu_1, \mu_2$ 를 적절히 선택함으로써 미리 정해진 평균  $\mu^{-1}$ 과 변동계수  $\gamma (>1)$ 를 가지는 분포를 얻을 수 있다. 식(1-1)과 식(1-3)으로부터 일정 평균값  $\mu^{-1}$ 과 변동계수  $\gamma (>0)$ 을 가지는 모든 분포를 얻을 수 있다. 이들 열량분포의 장점은 대기 행렬 이론의 분석법을 그대로 응용할 수 있다는 점이다. 이 경우, 주된 관심사는 어떤 순간에 가동하고 있는 평균기계대수가 몇 대이나 하는 것이다. 이 평균가동기계대수는  $\rho (= \lambda/\mu)$ 와  $\gamma$ 의 함수로 나타낼 수 있으며, 자세한 설명은 제5장에 나와 있다. 이것은 제3장에서 설명할 Ashcroft의 실용적 모델과 함께 한 사람의 작업자가 담당해야 할 최적기계대수를 결정하는데 사용된다.

### 제3장 실용적 모델

우선 한 작업자가 N대의 기계를 담당하고 있다고 가정하자. 그리고,

$L$  = 노무비/작업자/단위시간

$R$  = 운영비/단위시간/기계

단, 운영비=기계준비비+건물임대료+기계운용비이라고 하자.

그러면 통계적 평형을 가정했을 때 Ashcroft에 의하여 다음 식이 성립한다.

$$C(N) = (\text{단위비용당 평균기계가동대수})^{-1} \frac{L + NR}{E(\rho, \gamma, N)}$$

$$= \frac{R(N + L/R)}{E(\rho, \gamma, N)} \dots\dots\dots (1-6)$$

단,  $E(\rho, \gamma, N)$  = 평균기계가동대수

따라서  $N$ 의 최적값은  $C(N)$ 을 최소로 하는  $N$ 값이다.  $\rho, \gamma, L/R$ 의 여러 값에 대하여  $N$ 의 최적값을 계산하였으며 그 결과가 표 1-1~1-5에 나와 있다. 이 표에는 또 작업자가 기계를 수리하는데 소요된 시간의 비율(작업자 효율)과 기계가 작동하고 있는 시간의 비율, 즉  $E(\rho, \gamma, N) \times 100/N$ (기계효율)도 주어져 있다.

<표1-1>  $L/R=0.5$ 일 때

| (a) 최적담당기계대수 Optimal Number of Machines |    |     |    |     |    |    |
|-----------------------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| $\rho \backslash \gamma$                | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
| 0.02                                    | 27 | 25  | 22 | 18  | 15 | 12 |
| 0.025                                   | 22 | 20  | 18 | 15  | 12 | 10 |
| 0.03                                    | 18 | 17  | 15 | 13  | 11 | 9  |
| 0.035                                   | 16 | 15  | 13 | 11  | 9  | 8  |
| 0.04                                    | 14 | 13  | 12 | 10  | 8  | 7  |
| 0.05                                    | 11 | 11  | 10 | 8   | 7  | 6  |
| 0.06                                    | 10 | 9   | 8  | 7   | 6  | 5  |
| 0.08                                    | 8  | 7   | 7  | 6   | 5  | 4  |
| 0.1                                     | 6  | 6   | 6  | 5   | 4  | 4  |

  

| (b) 작업자효율 Operator Efficiency |    |     |    |     |    |    |
|-------------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| $\rho \backslash \gamma$      | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
| 0.02                          | 52 | 49  | 43 | 35  | 29 | 23 |
| 0.025                         | 53 | 48  | 43 | 36  | 28 | 23 |
| 0.03                          | 52 | 49  | 43 | 37  | 31 | 25 |
| 0.035                         | 53 | 50  | 43 | 36  | 29 | 26 |
| 0.04                          | 53 | 49  | 45 | 37  | 30 | 25 |
| 0.05                          | 51 | 51  | 46 | 37  | 34 | 27 |
| 0.06                          | 55 | 50  | 44 | 38  | 32 | 26 |
| 0.08                          | 57 | 50  | 50 | 42  | 34 | 27 |
| 0.1                           | 53 | 52  | 52 | 42  | 34 | 33 |

  

| (c) 기계효율 Machine Efficiency |    |     |    |     |    |    |
|-----------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| $\rho \backslash \gamma$    | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
| 0.02                        | 97 | 97  | 97 | 96  | 95 | 94 |
| 0.025                       | 96 | 96  | 96 | 95  | 94 | 93 |
| 0.03                        | 96 | 95  | 95 | 94  | 93 | 91 |
| 0.035                       | 95 | 94  | 94 | 93  | 92 | 90 |
| 0.04                        | 94 | 94  | 93 | 92  | 91 | 88 |
| 0.05                        | 93 | 92  | 91 | 90  | 88 | 86 |
| 0.06                        | 92 | 90  | 90 | 88  | 86 | 84 |
| 0.08                        | 89 | 87  | 86 | 83  | 81 | 79 |
| 0.1                         | 88 | 84  | 82 | 80  | 78 | 74 |

<표1-2> L/R=1일 때

(a) 최적담당기계대수 Optimal Number of Machines

| $\rho \backslash \gamma$ | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
|--------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| 0.02                     | 31 | 30  | 27 | 23  | 20 | 16 |
| 0.025                    | 25 | 24  | 22 | 19  | 16 | 13 |
| 0.03                     | 22 | 21  | 19 | 16  | 14 | 11 |
| 0.035                    | 19 | 18  | 16 | 14  | 12 | 10 |
| 0.04                     | 17 | 16  | 15 | 13  | 11 | 9  |
| 0.05                     | 14 | 13  | 12 | 10  | 9  | 8  |
| 0.06                     | 12 | 11  | 10 | 9   | 8  | 7  |
| 0.08                     | 9  | 9   | 8  | 7   | 6  | 6  |
| 0.1                      | 8  | 9   | 7  | 6   | 5  | 5  |

(b) 작업자효율 Operator Efficiency

| $\rho \backslash \gamma$ | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
|--------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| 0.02                     | 60 | 58  | 52 | 44  | 38 | 30 |
| 0.025                    | 60 | 58  | 52 | 45  | 37 | 30 |
| 0.03                     | 63 | 60  | 54 | 45  | 39 | 30 |
| 0.035                    | 63 | 59  | 53 | 45  | 38 | 31 |
| 0.04                     | 64 | 60  | 56 | 48  | 40 | 32 |
| 0.05                     | 65 | 60  | 55 | 45  | 40 | 35 |
| 0.06                     | 65 | 60  | 54 | 48  | 42 | 36 |
| 0.08                     | 64 | 63  | 56 | 48  | 41 | 40 |
| 0.1                      | 69 | 60  | 59 | 50  | 41 | 39 |

(c) 기계효율 Machine Efficiency

| $\rho \backslash \gamma$ | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
|--------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| 0.02                     | 97 | 96  | 96 | 95  | 94 | 93 |
| 0.025                    | 96 | 96  | 95 | 94  | 93 | 91 |
| 0.03                     | 96 | 94  | 94 | 93  | 91 | 90 |
| 0.035                    | 94 | 94  | 93 | 91  | 90 | 88 |
| 0.04                     | 94 | 93  | 92 | 90  | 89 | 87 |
| 0.05                     | 92 | 91  | 90 | 88  | 86 | 83 |
| 0.06                     | 91 | 89  | 88 | 86  | 84 | 81 |
| 0.08                     | 89 | 85  | 84 | 82  | 80 | 72 |
| 0.1                      | 86 | 83  | 80 | 78  | 76 | 70 |

<표1-3> L/R=2일 때

(a) 최적담당기계대수 Optimal Number of Machines

| $\rho \backslash \gamma$ | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
|--------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| 0.02                     | 36 | 35  | 32 | 28  | 25 | 21 |
| 0.025                    | 29 | 28  | 26 | 23  | 21 | 18 |
| 0.03                     | 25 | 24  | 22 | 20  | 18 | 15 |
| 0.035                    | 22 | 21  | 20 | 18  | 16 | 14 |
| 0.04                     | 19 | 19  | 18 | 16  | 14 | 12 |
| 0.05                     | 16 | 15  | 14 | 13  | 12 | 11 |
| 0.06                     | 14 | 13  | 12 | 11  | 10 | 9  |
| 0.08                     | 11 | 10  | 10 | 9   | 8  | 8  |
| 0.1                      | 9  | 9   | 8  | 8   | 7  | 7  |

(b) 작업자효율 Operator Efficiency

| $\rho \backslash \gamma$ | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
|--------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| 0.02                     | 69 | 67  | 61 | 53  | 47 | 38 |
| 0.025                    | 69 | 67  | 61 | 54  | 48 | 40 |
| 0.03                     | 71 | 68  | 62 | 55  | 49 | 40 |
| 0.035                    | 72 | 69  | 65 | 57  | 50 | 43 |
| 0.04                     | 71 | 70  | 66 | 57  | 49 | 41 |
| 0.05                     | 73 | 68  | 63 | 57  | 51 | 46 |
| 0.06                     | 75 | 70  | 64 | 57  | 51 | 44 |
| 0.08                     | 76 | 69  | 68 | 60  | 52 | 49 |
| 0.1                      | 76 | 75  | 66 | 63  | 54 | 52 |

(c) 기계효율 Machine Efficiency

| $\rho \backslash \gamma$ | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
|--------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| 0.02                     | 96 | 96  | 95 | 94  | 93 | 91 |
| 0.025                    | 95 | 95  | 94 | 93  | 91 | 89 |
| 0.03                     | 94 | 94  | 93 | 91  | 89 | 87 |
| 0.035                    | 93 | 93  | 91 | 89  | 88 | 85 |
| 0.04                     | 93 | 91  | 90 | 88  | 86 | 84 |
| 0.05                     | 91 | 90  | 89 | 86  | 83 | 80 |
| 0.06                     | 89 | 88  | 86 | 84  | 81 | 78 |
| 0.08                     | 86 | 84  | 82 | 79  | 76 | 72 |
| 0.1                      | 84 | 79  | 78 | 74  | 72 | 67 |

<표1-4> L/R=4일 때

| (a) 최적담당기계대수      Optimal Number of Machines |    |     |    |     |    |    |
|----------------------------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| $\rho \backslash \gamma$                     | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
| 0.02                                         | 40 | 40  | 38 | 34  | 31 | 27 |
| 0.025                                        | 33 | 32  | 31 | 28  | 26 | 23 |
| 0.03                                         | 28 | 27  | 26 | 24  | 22 | 20 |
| 0.035                                        | 24 | 24  | 23 | 21  | 20 | 18 |
| 0.04                                         | 22 | 21  | 20 | 19  | 18 | 16 |
| 0.05                                         | 18 | 18  | 17 | 16  | 15 | 14 |
| 0.06                                         | 15 | 15  | 15 | 14  | 13 | 12 |
| 0.08                                         | 12 | 12  | 12 | 11  | 11 | 10 |
| 0.1                                          | 10 | 10  | 10 | 10  | 9  | 9  |

  

| (b) 작업자효율      Operator Efficiency |    |     |    |     |    |    |
|------------------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| $\rho \backslash \gamma$           | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
| 0.02                               | 76 | 76  | 72 | 63  | 57 | 48 |
| 0.025                              | 78 | 73  | 72 | 64  | 58 | 50 |
| 0.03                               | 78 | 75  | 72 | 65  | 58 | 51 |
| 0.035                              | 78 | 77  | 73 | 65  | 60 | 53 |
| 0.04                               | 80 | 77  | 72 | 66  | 61 | 53 |
| 0.05                               | 81 | 80  | 75 | 68  | 62 | 55 |
| 0.06                               | 79 | 79  | 77 | 69  | 63 | 55 |
| 0.08                               | 81 | 80  | 78 | 70  | 66 | 58 |
| 0.1                                | 82 | 81  | 79 | 74  | 66 | 62 |

  

| (c) 기계효율      Machine Efficiency |    |     |    |     |    |    |
|----------------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| $\rho \backslash \gamma$         | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
| 0.02                             | 96 | 95  | 94 | 92  | 91 | 88 |
| 0.025                            | 94 | 94  | 92 | 91  | 89 | 86 |
| 0.03                             | 93 | 92  | 91 | 89  | 87 | 84 |
| 0.025                            | 93 | 91  | 90 | 88  | 85 | 82 |
| 0.04                             | 91 | 90  | 89 | 86  | 83 | 80 |
| 0.05                             | 89 | 87  | 86 | 83  | 80 | 76 |
| 0.06                             | 88 | 85  | 83 | 80  | 77 | 73 |
| 0.08                             | 85 | 83  | 83 | 75  | 71 | 68 |
| 0.1                              | 82 | 81  | 80 | 75  | 67 | 62 |

<표1-5> L/R=8일 때

(a) 최적담탱기계대수 Optimal Number of Machines

| $\rho \backslash \gamma$ | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
|--------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| 0.02                     | 45 | 44  | 42 | 40  | 38 | 35 |
| 0.025                    | 36 | 36  | 35 | 33  | 31 | 29 |
| 0.03                     | 31 | 31  | 30 | 29  | 27 | 26 |
| 0.035                    | 27 | 27  | 26 | 25  | 24 | 23 |
| 0.04                     | 24 | 24  | 23 | 23  | 22 | 21 |
| 0.05                     | 20 | 20  | 19 | 19  | 19 | 18 |
| 0.06                     | 17 | 16  | 16 | 16  | 16 | 16 |
| 0.08                     | 14 | 12  | 12 | 12  | 12 | 12 |
| 0.1                      | 11 | 10  | 10 | 10  | 10 | 10 |

(b) 작업자효율 Operator Efficiency

| $\rho \backslash \gamma$ | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
|--------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| 0.02                     | 85 | 83  | 78 | 73  | 68 | 60 |
| 0.025                    | 84 | 83  | 80 | 74  | 67 | 61 |
| 0.03                     | 85 | 85  | 81 | 76  | 69 | 63 |
| 0.035                    | 86 | 85  | 81 | 75  | 70 | 64 |
| 0.04                     | 86 | 85  | 81 | 77  | 71 | 65 |
| 0.05                     | 87 | 86  | 81 | 77  | 74 | 66 |
| 0.06                     | 87 | 83  | 80 | 77  | 73 | 68 |
| 0.08                     | 90 | 80  | 78 | 74  | 70 | 66 |
| 0.1                      | 88 | 81  | 79 | 75  | 70 | 66 |

(c) 기계효율 Machine Efficiency

| $\rho \backslash \gamma$ | 0  | 0.5 | 1  | 1.5 | 2  | 3  |
|--------------------------|----|-----|----|-----|----|----|
| 0.02                     | 94 | 93  | 93 | 90  | 89 | 85 |
| 0.025                    | 93 | 92  | 91 | 88  | 86 | 82 |
| 0.03                     | 92 | 90  | 89 | 86  | 84 | 79 |
| 0.035                    | 91 | 89  | 87 | 84  | 81 | 77 |
| 0.04                     | 90 | 87  | 86 | 82  | 79 | 75 |
| 0.05                     | 87 | 86  | 83 | 79  | 75 | 71 |
| 0.06                     | 86 | 86  | 84 | 80  | 75 | 71 |
| 0.08                     | 81 | 84  | 81 | 78  | 73 | 69 |
| 0.1                      | 80 | 81  | 79 | 75  | 70 | 66 |



#### 제4장 표의 이용방법

표1-1~1-5를 사용하기 위해서는 우선적으로  $\rho, \gamma, L/R$ 의 값을 알아야 한다.  $\rho$ 와  $\gamma$ 의 값은 상당한 시간동안 공정을 관찰하면 추정할 수 있다. 특히 다수의 수리시간  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_m$ 을 측정하는 것이 필요하며, 동시에 기계정지시간의 가동시간  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ 도 측정 해야 한다.

그리고  $\bar{T}, S^2, \bar{R}$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\bar{T} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_i \dots\dots\dots(1-7)$$

$$S^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_i^2 - \bar{T}^2 \dots\dots\dots(1-8)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i \dots\dots\dots(1-9)$$

따라서  $\rho$ 와  $\gamma$ 의 적절한 추정치는 다음과 같다.

$$\rho = \frac{\bar{T}}{\bar{R}} \dots\dots\dots(1-10)$$

$$\gamma = \frac{S}{\bar{T}} \dots\dots\dots(1-11)$$

$L/R$ 을 결정하는 것은 약간 어려우나 앞에 제시된 실용적 모델을 사용하기 위해서는 반드시 추정되어야만 한다. 그러나 다행히도  $L/R$ 값이 다소 변동하더라도 결과치(최적기계대수, 작업자효율, 기계효율)에는 별다른 영향을 미치지 않으므로 개략적인  $L/R$ 값을 추정하면 충분하다.

그럼 한가지 예를 들기로 하자. 공정을 관찰한 결과,  $\rho=0.031, \gamma=1.4$ 이었으며, 계리부서에 의하면  $L=£3.50, R=£1.10$ , 즉  $L/R=3.2$ 이었다고 한다.

보간법을 사용하여 작업자당 최적담당 기계대수를 구한 결과 약 22대이었다. 그리고 작업자효율과 기계효율은 각각 약 60%, 90%였다.

## 제5장 이론적 배경

앞에서 언급한 여러 가지 통계적 모델을 가정했을 때 평균가동기계대수의 유도과정에 대하여 설명하기로 한다.

먼저, 서비스시간이 다음과 같은 밀도 함수를 가질 때를 고려해 보기로 하자.

$$P_1(t) = \frac{k\mu(k\mu t)^{k-1} e^{-k\mu t}}{(k-1)!} (t \geq 0) \dots\dots\dots(1-12)$$

식(1-12)가 다음 식과 같은 밀도함수를 가지고, 서로 독립인  $k$ 개의 변수의 합의 밀도함수임은 이미 잘 알려져 있다.

$$P(t) = k\mu e^{-k\mu t} (t \geq 0) \dots\dots\dots(1-13)$$

그럼 서비스시간이  $k$ 개의 분리된 단계들로 구성되어 있고, 이들 각각의 평균이  $1/k\mu$ 이고 밀도함수가 식(1-13)과 같은 서비스체계에 대하여 고려해보기로 하자. 미소시간간격  $h$ 동안에 단계  $i$ 로부터 단계( $i+1$ )로 옮겨갈 확률은 약  $k\mu h$ 이다.

시간이  $t$ 이고,  $n$ 대의 기계가 고장이 나있으며, 수리하고 있는 기계가  $i$ 번째 단계의 수리중에 있을 확률을  $P_n, i(t)$ 라고 하자( $n \geq 1, 1 \leq i \leq k$ ). 그리고  $P_0(t)$ 는 시간  $t$ 에 한대의 기계도 고장이 나 있지 않을 확률이라고 하자. 전체 기계대수가  $N$ 대이고 이들 기계를 한 사람이 담당한다고 가정하자.

미소시간간격  $h$ 에 대한  $P_n, i(t+h)$ 를 고려해 보기로 하자(단,  $2 \leq n \leq N, 2 \leq i \leq k$ ). 시간( $t, t+h$ ) 사이에 발생할 수 있는 사건의 경우는 3가지가 있다. 즉 아무런 사건도 일어나지 않거나(직기가 정상회전), 기계 1대가 정지하거나(경사가 끊긴 것을 가정), 수리 중인 기계가 한 상태에서 그 다음 상태로 넘어가거나(뒷 나름에서 경사를 이어서 앞나름으로 넘김)등 이들 3가지 중 하나일 것이다. 이러한 상황을 식으로 나타내 보기로 하자.

$$P_{n,i}(t+h) = P_{n,i}(t)(1-k\mu h-(N-n)\lambda h) + P_{n-1,i}(t)(N-n+1)\lambda h + P_{n,i-1}(t)k\mu h \cdots \cdots (1-14)$$

위식의 양변을  $h$ 로 나누고  $h \rightarrow 0$ 일 때의 극한 값을 구하면 다음과 같다.

$$P'_{n,i}(t) = \lambda(N-n+1)P_{n-1,i}(t) - \{k\mu + (N-n)\lambda\}P_{n,i}(t) + k\mu P_{n,i-1}(t) \cdots \cdots (1-15)$$

단,  $(\cdot)$ 은  $t$ 에 대한 미분임.

충분한 시간이 경과하면 시스템의 상태는 필연적으로 초기상태나 경과한 시간과는 무관한 안정상태에 도달하게 되며  $P_{n,i}(t)=0$ 이 된다. 따라서,

$$\{k\mu + (N-n)\lambda\}P_{n,i} = \lambda(N-n+1)P_{n-1,i} + k\mu P_{n,i-1} \cdots \cdots (1-16)$$

$\rho = \lambda/\mu$ 라 하고 위식의 양변을  $\mu$ 로 나누면 다음과 같다.

$$\{k + (N-n)\rho\}P_{n,i} = \rho(N-n+1)P_{n-1,i} + kP_{n,i-1} \cdots \cdots (1-17)$$

단,  $2 \leq n \leq N, 2 \leq i \leq k$

같은 방법으로 다음 식을 구할 수 있다.

$$\{k + (N-n)\rho\}P_{n,1} = \rho(N-n+1)P_{n-1,1} + kP_{n+1,k} \cdots \cdots (1-18)$$

단,  $2 \leq n \leq N-1$

$$kP_{N,1} = \rho P_{N-1,1} \cdots \cdots (1-19)$$

$$\{k + (N-1)\rho\}P_{1,i} = kP_{1,i-1}$$

단,  $2 \leq i \leq k \cdots \cdots (1-20)$

$$\{k + (N-1)\rho\}P_{1,1} = \rho NP_0 + kP_{2,1} \cdots \cdots (1-21)$$

그리고,

$$P_0 = 1 - \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^K P_{n,i} \cdots \cdots (1-22)$$

이므로 이들은  $NK$ 원 연립방정식이 되며,  $NK$ 개의 변수에 대한 해(solution)을 가지게 된다.

따라서,

$$P(n\text{대의 기계가 고장}) = \sum_{i=1}^K P_{n,i} = P_n \text{ 단, } n \geq 1 \cdots \cdots (1-23)$$

$$P(0\text{대의 기체가 고장})=P_0\cdots\cdots(1-24)$$

이다. 그리고,

$$\text{평균기체고장대수} = \sum_{n=1}^N nP_n \cdots\cdots(1-25)$$

$$\text{평균기체가동대수} = N - \sum_{n=1}^N nP_n \cdots\cdots(1-26)$$

이다.

두번째로 서비스시간의 밀도함수가 다음과 같을 경우에 대하여 생각해 보기로 하자.

$$P_2(t) = \xi \mu_1 e^{-\mu_1 t} + (1-\xi)\mu_2 e^{-\mu_2 t} \quad (t>0) \cdots\cdots(1-27)$$

이 상황은 서비스의 유형이 2가지 있는 경우이다. 한 기체가 유형1의 서비스를 받을 확률이  $\xi$ 이고, 유형2의 확률이  $(1-\xi)$ 이다. 유형  $i$ 의 서비스시간 밀도함수는  $\mu_i e^{-\mu_i t} (t>0)$ 이며, 앞에서와 같은 분석기법을 사용할 수 있다.

$P_{n,i}(t)$ 를 시간  $t$ 에  $n$ 대의 기체가 고장이고, 고장난 기체가 유형  $i$ 의 서비스를 받고 있을 확률이라고 하자(단,  $i=1,2$ ;  $1 \leq n \leq N$ ). 그리고  $P_0(t)$ 는 시간  $t$ 에 고장난 기체가 없을 확률이라고 하자.

$2 \leq n \leq N-1$ 이라고 할 때, 앞에서와 같은 방법을 사용하면,

$$P_{n,1}(t+h) = P_{n,1}(t) \{1 - \mu_1 h - (N-n)\lambda h\} + \lambda (N-n+1)h P_{n-1,1}(t) + \xi \{ \mu_1 P_{n+1,1}(t) + \mu_2 h P_{n+1,2}(t) \} \cdots\cdots(1-28)$$

$$P'_{n,1}(t) = \lambda (N-n+1) P_{n-1,1}(t) - \{ \mu_1 + \lambda (N-n+1) \} P_{n,1}(t) + \xi \{ \mu_1 P_{n+1,1}(t) + \mu_2 P_{n+1,2}(t) \} \cdots\cdots(1-29)$$

시스템이 안정상태라고 가정하면,

$$\{ \mu_1 + \lambda (N-n) \} P_{n,1} = \lambda (N-n+1) P_{n-1,1} + \xi ( \mu_1 P_{n+1,1} + \mu_2 P_{n+1,2} ) \cdots\cdots(1-30)$$

단,  $2 \leq n \leq N-1$

같은 방법으로

$$\{\mu_2 + \lambda(N-n)\}P_{n,2} = \lambda(N-n+1)P_{n-1,2} + (1-\xi)(\mu_1 P_{n+1,1} + \mu_2 P_{n+1,2}) \cdots (1-31)$$

단,  $2 \leq n \leq N-1$

$$\{\mu_1 + \lambda(N-1)\}P_{1,1} = \xi \lambda N P_0 + \xi(\mu_1 P_{2,1} + \mu_2 P_{2,2}) \cdots (1-32)$$

$$\{\mu_2 + \lambda(N-1)\}P_{1,2} = (1-\xi) \lambda N P_0 + (1-\xi)(\mu_1 P_{2,1} + \mu_2 P_{2,2}) \cdots (1-33)$$

$$\mu_1 P_{N,1} = \lambda P_{N-1,1} \cdots (1-34)$$

$$\mu_2 P_{N,2} = \lambda P_{N-1,2} \cdots (1-35)$$

그리고,

$$P_0 = 1 - \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^2 P_{n,i} \cdots (1-36)$$

이므로  $\lambda$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ,  $\xi$ 는 평균서비스시간이 미리 정한  $\mu^{-1}$ 과, 변동계수는  $\gamma$ 와, 비율  $\lambda/\mu$ 는  $\rho$ 와 일치하도록 선택되었다. 이들 조건들을 만족시키는 값들의 조합은 무한히 많다.

$\mu_1 = 1$  이라고 하면,

$$\mu_2 = \frac{\gamma^2 \xi (1-\xi) + \sqrt{\xi(1-\xi)(\gamma^2 - 1)}}{\xi(1-\gamma^2 \xi)} \cdots (1-38)$$

이다.

주어진 값  $\gamma$ 에 대하여  $\xi < 1/\gamma^2$ 를 만족시키는  $\xi$ 를 선택할 수 있다. 그리고 나서  $\mu^2$ 를 결정한다. 마지막으로  $\lambda = \rho\mu$ 이다.

$\gamma$ 가 특별한 값을 가지면 분석법이 달라진다. 만일  $\gamma=1$ 이면  $P_1(t)$ 와  $P_2(t)$  둘다 밀도함수가  $\mu e^{-\mu t}$ 가 된다. 이 경우  $\rho = \lambda/\mu$ 라고 하면 다음 관계식이 쉽게 유도된다.

$$P_n = - \frac{\frac{N!}{(N-n)!} \rho^n}{\sum_{i=0}^N \frac{N!}{(n-i)!}} \rho^i$$

단,  $n=0, 1, \dots, N \cdots (1-39)$

그리고

$$\text{평균가동대수} = N - \sum_{n=1}^N n P_n \dots (1-40)$$

이다.

만일  $\gamma=0$ 이면 서비스시간은 일정하게 된다.  $P_1(t)$ 에서  $K \rightarrow \infty$ 이면 이러한 분포가 된다. 그러나 이러한 경우 Ashcroft에 의하면,

$$\text{평균가동기계대수} = \{\rho + (N Y_N)^{-1}\}^{-1} \dots (1-41)$$

$$\text{단, } Y_N = \sum_{n=0}^{N-1} \binom{N-1}{n} \prod_{\gamma=1}^n (e^{\gamma\rho} - 1)$$

이다.

표1-1~1-5에서 전체작업시간중 작업자가 일을 하는 시간의 비율이 나와 있다. 처음 3가지 경우에는 이 비율은 단순히  $1-\rho_0$ 이며 또한 쉽게 계산할 수 있다. 그리고 일정한 서비스시간을 가지는 경우에는 Ashcroft에 의하면,  $Y_N$ 이 식(1-41)에서와 같을 때

$$\text{평균가동기계대수} = \{1 + (N \rho Y_N)^{-1}\}^{-1} \text{이다.}$$

## 제2부 경제성공학을 이용한 투자분석

### 제1장 투자배경 설명

#### 1.1 개요

한국방직(주)는 섬유류제품과 면직물을 생산하고 있다. 현재 면사는 전량 구입하고 있으며 그래서 자체수요 2만톤과 다른 제직 및 편직회사에 판매할 1만 톤을 생산할 수 있는 방직공장을 건설할 것을 고려하고 있다.

한국방직은 연간 32,400톤의 원면으로 3만톤의 면사를 생산하기 위하여 4만 추의 방적기와 기타부대설비를 건설하려고 한다. 장비는 10년간 사용할

수 있으며 방적기에는 1,600여의 작업원이 필요하다고 한다. 기술적인 자문을 받은 결과 회사의 투자 계획은 만족할만 하다고 보고를 받았다.

## 1.2 시장조사

국내섬유산업을 조사한 결과 연간 1억 2,500만m의 직물을 짤 수 있는 능력이 있다고 판명되었다. 현재 가동중이거나 증설예정인(한국방직 제외) 방적설비로서는 매년 7,500만m의 직물을 짜는데 필요한 면사를 방적할 수 있어 5,000만m의 직물에 대한 소요면사가 부족하다. 1m의 직물에 0.66kg의 면사가 필요하다고 한다면 한국방직을 포함한 제직 및 편직업체의 연간 면사수요에 비해서 33,000톤이나 부족한 셈이다. 따라서 생산할 면사의 판매시장은 충분하다.

그리고 현재 면사구입가격을 운반비, 제반수수료 등을 포함하여 ₩205/kg 이라할 때 한국방직이 생산할 면사가격은 다른 방직회사들이 면사를 사도록 유도하기 위하여 ₩200/kg에 판매하기로 하였다.

<표2-1> 방적시설 40,000추 설치운용에의 투자(가상환율 640:1)

| 항 목                    | 비 용                |        | 지 출 년 도 |
|------------------------|--------------------|--------|---------|
|                        | \$ 1,000           | ₩ 10 만 |         |
| 방적기계비                  | 4,000 <sup>a</sup> |        | 0       |
| 부수장비                   | 850 <sup>a</sup>   |        | 0       |
| 설 치 비                  | 100                |        | 1       |
| 공장(확장) 건설              |                    | 6,000  | 0       |
| 시 운 전                  |                    | 3,000  | 1       |
| 운전자본: 3개월분원료(C. I. F.) | 1,200 <sup>b</sup> |        | 1       |
| 예비부품(1년분)              | 243 <sup>a</sup>   |        | 1       |
| 총계:     년도 0           | 4,850              | 6,000  |         |
| 년도 1                   | 1,543              | 3,000  |         |

a : 5 %의 관세 미가산  
b : 10 % 관세 미가산

## 1.3 투자비용

한국방직에서 추정하는 자본지출은 표2-1과 같다.

#### 1.4 직접비용

##### ① 수입원면

30,000톤의 면사를 방적하는데는 32,400톤의 원면을 수입해야 한다.(면사 1kg 당원면 1.08kg이 소요). 현재 수입원면에 대한 CIF는 \$0.15/kg이고 관세는 10%이다(가상 환율 640:1).

##### ② 급료 및 임금

한국방직은 표2-2와 같이 1,600명의 각종 직원을 고용할 예정이다. 급료와 노임에는 25%의 수당(퇴직금, 휴가, 병가)이 포함되어 있다. 모든 작업자는 공장 부근지역에서 모집될 것이며, 부근의 일반 공장의 임금과 비슷한 수준의 노임을 지급할 것이다. 지금부터 4년째부터는 고급 기술자의 반을 일반기술자로 대체하고, 7년째부터는 5명의 고급기술자만 둔다.

<표2-2> 한국방직의 고용인원

| 분   | 류                  | 인원수   | 급료 및 임금   | 계 (10 만) |
|-----|--------------------|-------|-----------|----------|
| 기술자 |                    |       |           |          |
|     | 고급직                | 20    | ₩ 500 만/년 | ₩ 1,000  |
|     | 일반직                | 10    | ₩ 250 만/년 | ₩ 250    |
|     | 숙련공(운전공, 수리공, 사무원) | 1,000 | ₩1,250 /일 | ₩ 3,125  |
|     | 비숙련공(물자운반, 수위 등)   | 600   | ₩ 700 /일  | ₩ 1,050  |
| 계   |                    | 1,630 |           | ₩ 5,425  |

##### ③ 전기 및 상하수도

면사생산 1,000톤당 수도료와 전력비는 각각 ₩500만씩 지출된다. 전기는 이미 설치된 송전선으로부터 전력회사와 계약하여 공급받으며 일반요금의 60%정도인 산업용 전력요금의 적용을 받는다.

##### ④ 수리 및 정비



한국방직은 1년 후부터는 장비원가(CIF)의 5%정도의 예비부품을 수입하고자 한다. 예비부품에 대한 관세는 5%이다. 수리 및 정비에 필요한 인건비는 ②항에서 검토된 노동력에 포함되었다.

### 1.5 간접비용

한국방직은 표2-3과 같은 간접비용이 소요된다. 마지막 항목인 간접경비의 배분은 이미 발생된 경영진의 급료, 판매조직, 회계사의 급료 등에 대한 신설비의 몫이다.

<표2-3> 간접비용 추정액

| 항                  | 목    | 율       | 금 액 (₩ 10 만) |
|--------------------|------|---------|--------------|
| 감가상각               |      |         |              |
|                    | 장 비  | 10% / 년 | 3,325        |
|                    | 건 물  | 5% / 년  | 300          |
|                    | 보 험  | -       | 50           |
|                    | 대지임차 | -       | 250          |
| 기존설비의 간접경비배분 (30%) |      | -       | 1,250        |

### 1.6 비상준비금

과거의 경험에 비추어 한국방직의 경영진은 모든 직접비용의 5%를 비상준비금으로 허용한다.

### 1.7 생산용량의 이용율

한국방직은 장비가 수입되는 해의 후반 6개월간은 전체가동시 생산량의 1/3을, 그다음 해에는 2/3의 생산량을, 3년째 부터는 전체가동 생산량을 산출하고자 한다. 한국 방직의 모든 직접비용은 기술자의 급료를 제외하고는 모두 가변비용이다.

## 1.8 용자

한국방직에서 수입할 시설은 CIF 가격의 75%는 외상(생산자 차관)이며, 이 외상액은 1년거치 5년 동일액 년차 상환을 해야하고 미상환 부채에 대해서는 매년말 8%의 이자를 지불해야 한다. 이외에 공장이 일단 가동되면 9억원 정도를 은행으로부터 11%의 이자율로 용자받아서 원료재고를 계속 유지하고자 한다. 투자에 소요되는 나머지 자금은 내부자금으로 충당한다.

## 제2장 분석관점

가. 한국방직의 입장에서 이 project는 수익성이 있는가?

나. 투자수명 동안에 매년 8%의 인플레이션을 고려한다면 한국방직의 입장에서 이 project는 수익성이 있는가?

## 제3장 투자분석 내용

### 3.1 기업적 평가

계산작업표 2-4는 주어진 project의 기업적인 평가를 나타낸다. 작업표 밑에 나와 있는 각주를 보면 작업표를 이해하는 데는 하등의 어려움이 없으리라 생각한다. 법인(소득)세를 지불하기 전의 현금출납으로 계산하면 project의 납세전 수익율은 19%를 약간 상회하였으나, 전년도 손실을 이월하고 세금을 지불한 후 자기자본에 대한 납세 후 수익율을 계산한 결과 13%로 나타났다.



| (b) 판매수입 @ W200/kg | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3. 總收入             | 10,250 | 41,000 | 61,000 | 61,000 | 61,000 | 61,000 | 61,000 | 61,000 | 61,000 | 61,000 | 61,000 | 61,000 | 61,000 |

### C. 年間費用

#### 1. 수입원료(1kg 綿絲當 1.08 kg 原綿)

|                                 |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| (a) \$ 0.15/kg C.I.F. @ W640/\$ | 5,184 | 20,736 | 31,104 | 31,104 | 31,104 | 31,104 | 31,104 | 31,104 | 31,104 | 31,104 | 31,104 | 31,104 | 31,104 |
| (b) 판매 10%                      | 518   | 2,074  | 3,110  | 3,110  | 3,110  | 3,110  | 3,110  | 3,110  | 3,110  | 3,110  | 3,110  | 3,110  | 3,110  |

#### 2. 給料 및 勞賃<sup>c</sup>

|           |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (a) 고급기술자 | 500 | 1,000 | 1,000 | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 250   | 250   | 250   |
| (b) 일반기술자 | 125 | 250   | 250   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 625   | 625   | 625   |
| (c) 숙련공   | 521 | 2,083 | 3,125 | 3,125 | 3,125 | 3,125 | 3,125 | 3,125 | 3,125 | 3,125 | 3,125 | 3,125 | 3,125 |
| (d) 비숙련공  | 175 | 700   | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 1,050 |

#### 3. 전기 및 上下水道

|                                |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (a) 工業用水(綿絲 1,000 ton當 W500/萬) | 250 | 1,000 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 |
| (b) 전기( " " )                  | 250 | 1,000 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 |

#### 4. 修理 및 整備(장비원가의 5%)

|                                |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (a) C.I.F.(\$ 24.3萬 @ W640/\$) | 250 | 1,037 | 1,555 | 1,555 | 1,555 | 1,555 | 1,555 | 1,555 | 1,555 | 1,555 | 1,555 | 1,555 | 1,555 |
| (b) 판매 5%                      | 13  | 52    | 78    | 78    | 78    | 78    | 78    | 78    | 78    | 78    | 78    | 78    | 78    |

#### 5. 總 設備 費用

|                     |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6. 이상 준비금(취지費用의 5%) | 7,795 | 29,932 | 44,272 | 44,022 | 44,022 | 44,022 | 43,897 | 43,897 | 43,897 | 43,897 | 43,897 | 43,897 | 43,897 |
| 7. 보험 및 貸地賃借        | 390   | 1,497  | 2,214  | 2,201  | 2,201  | 2,201  | 2,195  | 2,195  | 2,195  | 2,195  | 2,195  | 2,195  | 2,195  |

#### 8. 간접경비 배분<sup>d</sup>

|            |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 9. 總 年間 費用 | 150*  | 300    | 300    | 300    | 300    | 300    | 300    | 300    | 300    | 300    | 300    | 300    | 300    |
|            | 8,335 | 31,729 | 46,786 | 46,523 | 46,523 | 46,523 | 46,392 | 46,392 | 46,392 | 46,392 | 46,392 | 46,392 | 46,392 |

#### D. 總分價値(在原本비 : A.4 + A.5)

|                      |         |         |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------|---------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| E. 納稅前 project의 現金出納 | -38,592 | -11,806 | 9,271 | 14,214 | 14,477 | 14,477 | 14,477 | 14,477 | 14,477 | 14,477 | 14,477 | 14,477 | 14,477 |
|----------------------|---------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|

(B.3 + D - A.6 - C.9)

#### F. 現在等價 (NPW)

##### 1. @ 15%

|                                        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| (a) 할인율 $(P/F)^{1/20}$                 | (1.0)   | (.87)   | (.756) | (.658) | (.572) | (.497) | (.432) | (.376) | (.327) | (.284) | (.247) |
| (b) 現在償還                               | -38,592 | -10,271 | 7,000  | 9,353  | 8,281  | 7,195  | 6,254  | 5,493  | 4,777  | 4,149  | 6,098  |
| (c) NPW                                | +9,746  |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 2. @ 20%                               |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| (a) 할인율 $(P/F)^{1/20}$                 | (1.0)   | (.833)  | (.694) | (.579) | (.482) | (.402) | (.335) | (.279) | (.233) | (.191) | (.162) |
| (b) 現在償還                               | -38,592 | -9,834  | 6,434  | 8,230  | 6,978  | 5,820  | 4,850  | 4,076  | 3,404  | 2,834  | 4,000  |
| (c) NPW                                | -1,800  |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 3. @ 19%                               |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| (a) 할인율 $(P/F)^{1/20} = 1/(1.19)^{20}$ | (1.0)   | (.84)   | (.706) | (.593) | (.499) | (.419) | (.352) | (.296) | (.249) | (.209) | (.176) |
| (b) 現在償還                               | -38,592 | -9,917  | 6,545  | 8,429  | 7,224  | 6,066  | 5,096  | 4,324  | 3,637  | 3,053  | 4,345  |
| (c) NPW                                | +210    |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

G. 自己資本에 대한 納稅後 收益

|                            |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1. 收入(B.3)                 | 10,250  | 41,000  | 61,000  | 61,000  | 61,000  | 61,000  | 61,000  | 61,000  | 61,000  | 61,000  | 61,000  |
| 2. 年間費用(C.9)               | -8,335  | -31,729 | -46,786 | -46,523 | -46,523 | -46,523 | -46,392 | -46,392 | -46,392 | -46,392 | -46,392 |
| 3. 減價損失                    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| (a) 장비 @ (A.1. a+b+c)의 10% | -1,662* | -3,323  | -3,323  | -3,323  | -3,323  | -3,323  | -3,323  | -3,323  | -3,323  | -3,323  | -3,323  |
| (b) 建物 @ (A.2)의 5%         | -150*   | -300    | -300    | -300    | -300    | -300    | -300    | -300    | -300    | -300    | -300    |
| 4. 折舊損失                    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| (a) 차관                     | -1,862  | -1,490  | -1,117  | -745    | -372    | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| (b) 費用(W9의 @ 11%)          | -405*   | -900    | -900    | -900    | -900    | -900    | -900    | -900    | -900    | -900    | -900    |
| 5. 課稅對象 所得                 | -       | -2,254  | 3,168   | 8,482   | 9,119   | 9,490   | 9,864   | 9,995   | 9,995   | 9,995   | 9,995   |
| 6. 前年度 損失 移越後의 50% 納稅後의 利潤 | -2,254  | 2,711   | 4,241   | 4,560   | 4,745   | 4,932   | 4,998   | 4,998   | 4,998   | 4,998   | 4,998   |
| 7. 繰上額 : 減價損失액             | 1,812   | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   |
| 8. 繰上額 : 投資額               | -38,592 | -13,721 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 9. 繰上額 : 處分價值(在附)          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 10. 費用 및 折舊                |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| (a) 차관                     | 23,280  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |

10,081

(c)  $NI^2W$ 

(M/01M 137)

| 年 | 度 | 미상환 부채액 | 지불이자(%) | 年度末 상환액(원금) |
|---|---|---------|---------|-------------|
| 1 |   | 23,280  | 1,862   | 4,656       |
| 2 |   | 18,624  | 1,490   | 4,656       |
| 3 |   | 13,968  | 1,117   | 4,656       |
| 4 |   | 9,312   | 745     | 4,656       |
| 5 |   | 4,656   | 372     | 4,656       |
| 6 |   | 0       | 0       | 0           |

又, 工場이 運動할 무렵인 7월 초에 응자했음.

### 3.2 인플레이션을 고려한 기업적평가

인플레이션에 대한 자세한 정보가 없는 상황에서 모든 물가가 매년 8%로 상승한다고 가정하고 이 project에 대한 기업적인 평가를 하기로 하겠다. 이 경우가 3.1의 일정한 물가를 가정한 분석과 틀리는 점은 일정한 시점에서 그 금액이 고정된 비용(또는 수익)은 시간이 흐름에 따라서 그 가치가 점점 감소한다는 점이다. 이 경우에 속하는 비용으로서 :

- (1) 장기차관의 원금과 이자는 그 액수가 차관시 고정이 되고,
- (2) 감가상각비는 세무당국이 원 구입가격에 근거해서 감가상각을 하도록 규정하고 있으므로 물가상승에 따른 영향이 무시된다.

납세 전 경제분석에는 장기차관이나 감가상각이 포함되지 않으므로 project 자체의 수익율은 인플레이션이 발생하더라도 변하지 않는다. 그 이유는 모든 비용과 수익이 매년 8%의 비율로 증가하고, 납세 전 수익은 그 당시의 화폐 가치로 계산되지만 수익율을 계산하기 위하여 모든 현금출납이 기준년도의 화폐가치로 재환산되면 물가상승의 영향이 모두 상쇄되기 때문이다.

그러나 납세 후 자기자본에 대한 수익은 인플레이션에 의해서 영향을 받는다. 감가상각비나 지불이자도 이윤이나 세금을 계산하기 위해서 비용으로 계산되지만 다른 수입이나 비용이 인플레이션에 따라서 상승하는데 반하여 이 비용은 일정하게 남아있으므로 실제이윤은 인플레이션이 없는 경우에 비해서 증가하게 된다. 그러나 법인(소득)세는 증가되어서 이런 이익 중 일부가 상쇄된다. 자기자본에 대한 납세 후 수익을 계산할 때에는 지불이자도 가산되지 않으므로 여기서 얻어지는 이득은 그대로 남게 되어, 전체적 영향은 이자 지불액에 따라서 수익율을 증가 혹은 감소시키는 방향으로 작용하게 된다.

계산작업표 2-5 인플레이션을 고려한 기업적 평가

- 가정사항: 1. 설비설치비 이외의 모든 물가는 년 8%의 비율로 상승함.  
 2. 세무당국은 원구입가격에 근거해서 감가상각을 허용함.  
 3. 차관의 상환은 원래 계산된 금액에 따름 (계산작업표 2-4).  
 4. 운전자본의 수요도 물가상승률로 증가하므로 이에 따라 용자액도 증가함.

(단위 ₩10 만)

|                                       | 年       |        |         |        |        |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------------------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                       | 0       | 1      | 2       | 3      | 4      | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
| A. 明記事項: 8% 物價上昇率 (I/P) <sup>8%</sup> | (1.0)   | (1.08) | (1.166) | (1.26) | (1.36) | (1.469) | (1.587) | (1.714) | (1.851) | (1.999) | (2.159) |
| B. 이윤과 現金出納                           |         |        |         |        |        |         |         |         |         |         |         |
| 1. 收入-年間費用                            |         |        |         |        |        |         |         |         |         |         |         |
| (a) 一定物價(계산 작업표 2-4 의 B.3-C.0)        | -       | 1,915  | 9,271   | 14,214 | 14,477 | 14,477  | 14,477  | 14,608  | 14,608  | 14,608  | 14,608  |
| (b) 當時物價로 計算가 (A×B.1.a)               | -       | 2,068  | 10,810  | 17,910 | 19,689 | 21,267  | 22,975  | 25,038  | 27,039  | 29,201  | 31,539  |
| 2. 감가상각(계산 작업표 2-4 의 G.3)             | -       | 1,812  | 3,623   | 3,623  | 3,623  | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   |
| 3. 借入利子                               |         |        |         |        |        |         |         |         |         |         |         |
| (a) 차관(계산 작업표 2-4 의 G.4a)             | -       | 1,862  | 1,490   | 1,117  | 745    | 372     | -       | -       | -       | -       | -       |
| (b) 當時物價로 평가한 借款*                     | -       | 535    | 1,154   | 1,247  | 1,346  | 1,454   | 1,571   | 1,697   | 1,832   | 1,979   | 2,137   |
| 4. 課税對象 所得 (I. b-2-3)                 | -       | -2,141 | 4,543   | 11,923 | 13,975 | 15,818  | 17,781  | 19,716  | 21,584  | 23,599  | 25,779  |
| 5. 前年度 損失 移越後의 剩餘 50% 納税後의 剩餘         | -       | -2,141 | 3,342   | 5,962  | 6,988  | 7,909   | 8,891   | 9,859   | 10,792  | 11,800  | 12,800  |
| 6. 下하기: 減價上각액                         | -       | 1,812  | 3,623   | 3,623  | 3,623  | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   | 3,623   |
| 7. 投資                                 |         |        |         |        |        |         |         |         |         |         |         |
| (a) 工場과 裝備(계산 작업표 2-4 의 A.1+A.2)      | -38,592 | -640   |         |        |        |         |         |         |         |         |         |
| (b) 借入金 在來                            |         |        |         |        |        |         |         |         |         |         |         |
| 8. 處分價値(在來)*                          |         |        |         |        |        |         |         |         |         |         |         |

-14.127\*

21,765



9. 용자 및 차관

(a) 차관 23,280

(b) 용자 및 추가용자

(=9,000[( $f/p$ )<sup>15</sup> - ( $f/p$ )<sup>25</sup>])

10. 용자 및 차관상환

(a) 차관

(b) 용자

11.當時物價로 평가한  
자기資本에 대한 納稅後 收益

12. 一定物價로 평가한  
자기資本에 대한 納稅後 收益

C. 現在評價

1. ④ 15%

(a) 할인율( $f/p$ )<sup>15</sup>

(b) 現在價值

(c) NPW

2. ⑤ 20%

(a) 할인율( $f/p$ )<sup>20</sup>

(b) 現在價值

(c) NPW

(주) a. 용자액은 年 8%의 率로 증가하므로 支拂利子額도 같은率로 증가함. 예를 들어 제 4年度에는 利子は W9,900万×1.35=W13,460万이다. 또한 용자는 1年後에 하계 되므로 그 當時의 金額은 W9억×1.08=W9억 7,200万이다. 在11는 제10年度에서 소비될 것이므로 용자는 더 증가하지 않는다.

b. 計算式은 2-4 의項(A.3, A.4, A.5를 8%로 代入시킨 것임).

c. 제10年度에서 소비되는 在11는 上列된 物價로 計算하여 W10의 812万×2.159=W21억 7,650万이다.

d. B.9.b의 數値의 總計이다.

e. 算B.11÷算A

계산작업표 2-5는 매년 8%의 물가상승이 있을 때의 수익율을 계산하는 차이이다. 표에서 알 수 있듯이 감가상각비와 차관의 상환액은 시간이 경과해도 액면금액이 상승하지 않는다. 그러나 재고를 유지하기 비율로 증가한다. 항A에는 매년 8%로 증가하는 물가지수가 나와 있으며, 이것은 단순히 계수  $(P/f)_n^8\%$ 이다. 항B.1은 매년 8%로 상승하는 모든 항목을 포함하는 수입과 연간비용의 차액이다. 이것은 계산 작업표 2-4로부터 일정물가의 경우를 구한 후 물가지수를 곱하여 해당년도의 화폐 가치로 재평가 한 것이다. 이 상승된 수치로부터 감가상가액(항B.2)과 차관에 대한 지불이자(항B.3a)를 빼고 또 당시 물가로 환산한 단기융자의 지불이자도 뺀다. 항B.4와 B.5는 당시 물가로 표시한 납세 전 수익 및 납세 후 이윤이다. 자기자본에 대한 납세 후 수익을 계산하기 위하여 감가상각액을 더해 주고, 투자액을 빼 주고, 제10년도에 소비되는 재고가치를 더해주고, 차관액과 매년 8%로 증가하는 단기융자액을 더해주고, 일정물가로 표시되는 차관상환금과 당시 물가로 표시되는 단기융자 상환금을 빼준다. 여기서 매년 가외로 필요한 융자액은 재고가격이 상승하기 때문이다. 항 B.11은 당시 물가로 표시된 납세 후 수익이다. 그러나 수익율을 계산하기 위해서는 동일한 화폐가치로 환산한 현금출납액을 비교하여야 하므로 물가지수(항A)로 나누어서 일정가치기준으로 표시해 주어야 한다(항B.12).

여기서 계산작업표2-4의 항G.12에 있는 납세 후 수익과 비교하여 보면 대단히 재미있는 사실을 발견하게 된다. 제1차년도~제3차년도 사이의 차관을 상환하는 도중에는 인플레이션이 있는 경우의 납세 후 수익율이 훨씬 높다. 그러나 일단 상환이 끝나고 나면 인플레이션 영향은 단지 감가상각의 영향을 감소시켜 세금을 증가시키므로 인플레이션이 있는 경우의 납세 후 수익은 낮아지게 된다. 그러나 전체적으로 볼 때 인플레이션으로부터의 이익이

더 가까운 장래에 발생하므로 수익율은 인플레이션 상황에서 높아진다. 여기서는 인플레이션으로 인하여 수익율이 13%에서 16%로 증가되었다.

### 제3부 마르코프 의사결정과정과 그 응용

#### 제1장 서 론

어떤 체계(system)내에서 시간과 더불어 어떤 사건(event)이 확률적으로 발생하고 그 사이의 일정시점에서 의사결정자가 그 사건을 처리해 나가는 과정을 마르코프 의사결정과정이라고 할 수 있다. 이러한 예로서는 면방공장의 침포의 수리 및 교체과정이나 스피들 교체과정 등과 같은 수리(또는 교체) 정책을 들 수 있다. 제3부에서는 이러한 의사결정과정을 간단한 수리모델(repair model)을 예로 들어서 설명 하기로 한다.

생산과정에서 기계를 과도하게 사용하면 제품의 질이 저하될 뿐 아니라 불합격품의 생산으로 인하여 생산량이 저하할 경우도 있다. 그래서 주기적으로(예 : 매일 일이 끝났을 때) 기계의 상태를 점검하고 있다. 검사 후 기계의 상태는 표3-1의 4가지 중 어느 한 경우로 분류된다.

| 기호 | 상                  | 태 |
|----|--------------------|---|
| 0  | 새 것과 같이 좋음         |   |
| 1  | 작동가능- 저하상태 무시가능    |   |
| 2  | 작동가능- 저하상태심각       |   |
| 3  | 작동불능- 생산품의 질이 형편없음 |   |

$X_t$ 를  $t$ 단위시간이 경과한 후의 기계검사 결과라 하자. 기계의 상태는 어떤 확률적 “운동법칙”에 따라 나빠진다고 가정할 수 있으므로 일련의 상태  $\{X_t\}$ 를 확률과정으로 볼 수 있다. 더욱이 이 확률과정은 유한상태 마르코프 체인이라고 가정할 수 있으며 변환행렬은 표3-2와 같다고 하자.

<표3-2> 상태의 변화행렬

| 전 \ 후 | 0 | 1             | 2             | 3             |
|-------|---|---------------|---------------|---------------|
| 0     | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{4}$ |
| 1     | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{4}$ |
| 2     | 0 | 0             | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ |
| 3     | 0 | 0             | 0             | 1             |

## 제2장 마르코프 의사결정 모형

### 2-1 모형1 (의사결정 $R_d$ )

표3-2의 변환행렬을 보면 일단 기계가 작동 불능이 되면 계속 작동 불능상태(상태3)에 머물러 있게 됨을 알 수 있다. 그러나 현실적인 면에서 기계가 작동불능이면 생산을 할 수 없으므로 교체하거나 수리하는 것이 보통이므로 이 모형은 실용성이 없다.

따라서 모형1에서는 기계가 상태3이 되면 교체하는 것을 원칙으로 한다. 기계가 작동이 불가능하여 교체되면 교체된 기계는 새것과 같이 좋은 상태, 즉 상태0에 있게 된다. 간편하게 하기 위하여 교체과정을 끝마치는데 하루가 걸린다고 생각하고 이 기간동안은 생산할 수 없다고 가정하자.

이 체계가 계속 유지되는데 드는 비용은 3~4개의 구성요소를 포함하고 있다. 체계가 상태 0, 1, 2에 있을 때 다음 날 불량품을 생산할 수도 있는데 그 기대 손실 비용은 표 3-3과 같다.

<표3-3> 기대손실비용

| 상 태 | 불량품의 기대손실 비용 |
|-----|--------------|
| 0   | 0            |
| 1   | 1,000 달러     |
| 2   | 3,000 달러     |

그리고 기계의 교체시 소요되는 교체비용은 4,000달러, 생산을 하지 못해서 발생하는 이익의 손실은 2,000달러라고 하자. 그래서 체계가 상태3에 있을 때는 모두 6,000달러의 손해를 보게된다.

상기의 정비정책, 즉 작동불가능한 기계를 교체하는 정책을 가진 체계로부터 발생하는 확률과정도 유한상태의 마르코프 체인인데 변환행렬은 다음의 표3-4와 같다.

<표3-4> 변환행렬(모형1) :  $R_a$

| 상 태 | 0 | 1             | 2              | 3              |
|-----|---|---------------|----------------|----------------|
| 0   | 0 | $\frac{7}{8}$ | $\frac{1}{16}$ | $\frac{1}{16}$ |
| 1   | 0 | $\frac{3}{4}$ | $\frac{1}{8}$  | $\frac{1}{8}$  |
| 2   | 0 | 0             | $\frac{1}{2}$  | $\frac{1}{2}$  |
| 3   | 1 | 0             | 0              | 0              |

확률변수  $X$ 가 상태  $i$ 에서 시작하여  $n$ 단계(단위시간) 후 상태  $j$ 에 있을 조건부 확률을  $P_{ij}^{(n)}$ 이라 할 때 모든  $i$ 와  $j$ 에 대해서  $P_{ij}^{(4)} > 0$ 이므로 모든 상태는 양 순환적이며 하나의 집단에 속한다. 안정상태 방정식은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \Pi_0 &= \Pi_3 \\ \Pi_1 &= \frac{7}{8}\Pi_0 + \frac{3}{4}\Pi_1 \\ \Pi_2 &= \frac{1}{16}\Pi_0 + \frac{1}{8}\Pi_1 + \frac{1}{2}\Pi_2 \\ 1 &= \Pi_0 + \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 \end{aligned} \right\} \dots (3-1)$$

식(3-1)을 동시에 만족시키는 해는

$$\Pi_0 = \frac{2}{13}$$

$$\Pi_1 = \frac{7}{13}$$

$$\Pi_2 = \frac{2}{13}$$

$$\Pi_3 = \frac{2}{13}$$

이다. 그러므로 장기적인 1일 기대평균 비용은,

$$0\Pi_0 + 1,000\Pi_1 + 3,000\Pi_2 + 6,000\Pi_3 = 1,923(\text{달러})$$

이다. 그리고 이 금액은 이 교체정책의 비용을 나타낸다.

## 2.2 모형2 (의사결정 $R_b$ )

2.1에서는 기계가 작동불능이면 교체하고 그렇지 않으면 기계를 그대로 둔다는 모형에 대하여 설명하였다. 그러나 이 방안외에도 가능한 다른 정책이 있을 수 있는데 그 한 경우로서 기계가 작동불능 하거나 작동가능하지만 저하상태가 심각할 경우(기계 상태 2나 3에 있을 경우)에 기계를 교체하며 그 외는 기계를 그대로 둔다는 것이다. 이 정책은 다른 변환확률을 형성하며 그 변환행렬이 표3-5에 나와 있다.

<표3-5> 변환행렬(모형2) :  $R_b$

| 상 태 | 0 | 1             | 2             | 3             |
|-----|---|---------------|---------------|---------------|
| 0   | 0 | $\frac{7}{8}$ | $\frac{1}{8}$ | $\frac{1}{8}$ |
| 1   | 0 | $\frac{3}{4}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{4}$ |
| 2   | 1 | 0             | 0             | 0             |
| 3   | 1 | 0             | 0             | 0             |

## 2.3 모형3 (의사결정 $R_c$ )

세번째 방안으로서 기계정비의 예를 더욱 실제적인 것으로 하기 위하여 완전수리가 가능하며 상태가 1이면 그대로 두고, 상태가 2이면 완전수리를 하며, 상태가 3이면 교체하는 정책을 가정해 보자. 이때 완전수리된 기계는 상태1(작동가능-저하상태 무시가능)이 되며, 교체시와 마찬가지로 완전수리를 하는데 하루가 걸리며 이 동안에는 생산을 할 수 없다고 하자. 이러한 세번째 방안, 즉 모형3의 변환행렬은 표3-6과 같다.

<표3-6> 변환행렬(모형3) :  $R_c$

| 상 태 | 0 | 1             | 2             | 3             |
|-----|---|---------------|---------------|---------------|
| 0   | 0 | $\frac{7}{8}$ | $\frac{1}{8}$ | $\frac{1}{8}$ |
| 1   | 0 | $\frac{3}{4}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{4}$ |
| 2   | 0 | 1             | 0             | 0             |
| 3   | 1 | 0             | 0             | 0             |

## 2.4 모형4 (의사결정 $R_d$ )

마지막으로 상태가 0이 아니면 무조건 교체하는 정책을 생각해 보자. 이 경우의 변환행렬은 표3-7과 같다.

<표3-7> 변환행렬(모형4) :  $R_d$

| 상 태 | 0 | 1             | 2             | 3             |
|-----|---|---------------|---------------|---------------|
| 0   | 0 | $\frac{7}{8}$ | $\frac{1}{8}$ | $\frac{1}{8}$ |
| 1   | 1 | 0             | 0             | 0             |
| 2   | 1 | 0             | 0             | 0             |
| 3   | 1 | 0             | 0             | 0             |

## 제3장 의사결정과정의 분석

### 3.1 이론적 개요

일반 모형에서 체계는 시간  $t=0, 1, \dots$ 에 관찰되며  $0, 1, 2, \dots, M$ 인 유한상태 중 하나로 분류된다.  $\{X_t, t=0, 1, \dots\}$ 가 일련의 관찰된 상태를 나타낸다고 하자. 관찰 후  $1, 2, \dots, k$ 라고 고 번호를 붙인  $k$ 개의 방안 중 하나의 방안(행동)을 선택하게 된다.  $\{\Delta_t, t=0, 1, \dots\}$ 가 실제 취한 방안이라 하자,  $R$ 이라고 표기되는 정책은 각 시점에서 방안을 결정하는 규정이다. 원칙적으로 정책결정에 있어서는 시간  $t$ 까지의 모든 정보를 이용할 수 있다. 즉,  $X_0, X_1, \dots, X_t$ 와  $\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{t-1}$ 로 구성되는 체계의 누적된 모든 정보를 이용하는 것이다.

그러나 실제상황에서 접하게 되는 모든 문제에 있어서는 시간  $t$ 에서 관찰된 상태  $X_t$ 와 그 때 가능한 의사방안으로 제한해도 충분하다. 그래서 정책  $R$ 은 체계가 상태  $i, i=0, 1, \dots, M$ 에 있을 때 의사  $d_i(R)$ 을 기술하는 규정으로 볼 수 있다. 이렇게 되어  $R$ 은  $\{d_0(R), d_1(R), \dots, d_M(R)\}$ 값에 의해 완전히 구분된다.

체계는 운동의 확률적 법칙과 일련의 결정과의 결합효과에 따라 변한다. 그리고 경로는 그 초기상태  $X_0$ 와 독립이다. 체계가 상태  $i$ 에 있고 의사  $d_i(R)=k$ 가 결정되었다면 체계는 언제나 모든  $i, j=0, 1, \dots, M$  그리고  $k=1, 2, \dots, k$ 에 대하여 기지의 확률  $P_{ij}(k)$ 로 변한다. 그래서 정책  $R$ 이 뒤따른다면 결과로 나타나는 과정은 기지의 변환확률을 가진 마르코프체인이다.

요약하여 말하면 체계는 체계의 초기상태분포  $P\{X_0=i\}$ 와 정책  $R$ 이 주어졌을 때 운동의 확률적 법칙과 일련의 의사와의 결합효과에 따라 변환하게 된다. 특히 체계가 상태  $i$ 에 있을 때 의사  $d_i(R)=k$ 를 결정했다면 다음 관찰시 체계가 상태  $j$ 에 있을 확률은  $P_{ij}(k)$ 이다. 이것은 일련의 관찰된 상태  $X_0, X_1, \dots$ 과 일련의 의사  $\Delta_0, \Delta_1, \dots$ 의 결과로 나타낸다. 이 일련의 관찰된 상태와 의사들을 마르코프 의사결정과정(Markovian decision process)이라 한다.

### 3.2 분 석

앞 장에서 4가지 정비정책이 기술되었지만 그 성질들은 아직까지 평가하지 않았다. 우선 4가지 정비정책에 따른 의사결정을 정리하면 표3-8과 같다.

“어느 정책이 가장 좋은가?” 이를 해결하기 위해서는 비용을 도입해야 한다. 체계가 상태  $i$ 에 있고 정책  $R$ 이 따르게 되는 의사결정  $d_i(R)=k$ 를 결정했을 때, 기지의 비용  $C_{ik}$ 를 지불해야 한다. 이 비용은 실제 비용보다는 기대비용을 나타낸다. 예를 들어 정비문제에서 기계를 그대로 둘 경우, 비용은 다음 기간에 생산되는 불량품의 수라는 확률변수에 따라 결정된다. 따라서 비



용  $C_k$ 는 불량품수의 분포에 의한 비용함수의 기대값으로서 체계가 속해 있는 상태와 결정된 의사에 따른다. 다시 말해서  $C_k$ 는 체계가 상태  $i$ 에 있고, 의사  $k$ 를 결정했을 때 다음 변환 동안에 발생하는 기대비용이다. 예의 정비 정책의 경우 비용의 내역은 표 3-9와 같다.

표3-9를 다시 정리하면 표3-10과 같다.

<표3-8> 의사결정

| 정            책                     | $d_0(R)$ | $d_1(R)$ | $d_2(R)$ | $d_3(R)$ |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| $R_a$ : 상태 3 에서 교체                 | 1        | 1        | 1        | 3        |
| $R_b$ : 상태 2, 3 에서 교체              | 1        | 1        | 3        | 3        |
| $R_c$ : 상태 2 에서 완전수리<br>상태 3 에서 교체 | 1        | 1        | 2        | 3        |
| $R_d$ : 상태 1, 2, 3 에서 교체           | 0        | 3        | 3        | 3        |

단, 1: 그대로 둔다.

2: 완전수리(체계를 상태1로 보냄)

3: 교체(체계를 상태0으로 보냄)

<표3-9> 기대비용( $C_k$ )

(단위 : 달러)

| 의    사 ( $k$ )      | 상    태 ( $i$ ) | 불량품생산<br>기    대    손    실 | 정    비    비    용 | 생산불능<br>기    대    손    실 | 1    인    총    비    용 |
|---------------------|----------------|---------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1. 그대 로    둔    다   | 0              | 0                         | 0                | 0                        | 0                     |
|                     | 1              | 1,000                     | 0                | 0                        | 1,000                 |
|                     | 2              | 3,000                     | 0                | 0                        | 3,000                 |
|                     | 3              | $\infty^+$                | 0                | 0                        | $\infty$              |
| 2. 완    전    수    리 | 0, 1, 2        | 0                         | 2,000            | 2,000                    | 4,000                 |
|                     | 3              | 0                         | $\infty^+$       | 2,000                    | $\infty$              |
| 3. 교            체   | 0, 1, 2, 3     | 0                         | 4,000            | 2,000                    | 6,000                 |

(+) 기계를 작동불능상태로 두거나 작동불능일 때 수리하는 것이 가정에 의해서 금지되었으므로 무한대의 비용이 부과된다.

<표3-10> 기대비용( $C_{ik}$ )

(단위 1,000달러)

| 의사<br>상태 | 1        | 2        | 3 |
|----------|----------|----------|---|
| 0        | 0        | 4        | 6 |
| 1        | 1        | 4        | 6 |
| 2        | 3        | 4        | 6 |
| 3        | $\infty$ | $\infty$ | 6 |

정책들을 비교하려면 적당한 비용척도를 설정하는 것이 필요하다. 이들 정책과 관련된 척도중 하나는 장기적인 평균비용의 기대값으로서, 어느 정책에 있어서나 장기적 기대평균비용  $E(C)$ 는 다음 식으로부터 계산할 수 있다.

$$E(C) = \sum_{i=0}^M C_{ik} \pi_i \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

여기서 각  $i$ 에 대하여  $k=d_i(R)$ 이며, 평가하려고 하는 정책  $R$ 하에서 체계의 상태들의 안정상태분포는  $(\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_M)$ 으로 나타난다. 이렇게 하여  $E(C)$ 를 최소화하는 정책을 찾는다. 장기적으로 보면 최초 의사에 의한 비용은 무시할만 하므로 이러한 판단기준하에서는 체계의 초기상태 분포는 별로 중요치 않다. 정비문제에서는 각 정책 하에서의  $(\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_M)$ 을 풀고 이 결과를 이용하여  $E(C)$ 를 구하면 된다.

계산절차는 2.1 모형1 (의사결정  $R_a$ )과 같으며 계산결과는 표3-11과 같다.

<표3-11> 장기적 기대평균 비용

| 정 책   | $(\pi_0, \pi_1, \pi_2, \pi_3)$                             | $E(C)$                                                    |
|-------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| $R_a$ | $(\frac{1}{13}, \frac{7}{13}, \frac{2}{13}, \frac{2}{13})$ | $\frac{1}{13} [2(0) + 7(1) + 2(3) + 2(6)] = 1.923$        |
| $R_b$ | $(\frac{2}{11}, \frac{7}{11}, \frac{1}{11}, \frac{1}{11})$ | $\frac{1}{11} [2(0) + 7(1) + 1(6) + 1(6)] = 1.727$        |
| $R_c$ | $(\frac{2}{21}, \frac{7}{21}, \frac{2}{21}, \frac{2}{21})$ | $\frac{1}{21} [2(0) + 15(1) + 2(4) + 2(6)] = 1.667$ (극소값) |
| $R_d$ | $(\frac{1}{32}, \frac{7}{32}, \frac{1}{32}, \frac{1}{32})$ | $\frac{1}{32} [16(0) + 14(6) + 1(6) + 1(6)] = 3.000$      |

표3-11을 보면 정책  $R_c$ 가 가장 효과적이다. 즉, 4가지 정책 중 상태 3에 있을 때는 기계를 교체하고, 상태 2에 있을 때는 완전수리를 하는 정책이 가장 좋으며, 장기적 기대평균비용은 1,667달러이다.