

---

## 〈교통공학원론〉 예제 모음

---

### 제 2 장

**예제 2.1** 중량 1,500 kg이고 전부 단면이 3 m<sup>2</sup>인 차량이 40 kph의 일정 속도로 달리다가 제동을 하여 감속하였다. 제동 시 타이어-노면의 마찰계수가 0.5라 할 때,

- (1) 초기감속도는 얼마인가?
- (2) 감속 1초 후의 속도와 감속도를 구하라. (단 0~1초 사이의 감속도는 일정하다고 가정한다.)
- (3) 최초감속 후 1초 동안 달린 거리를 구하라.
- (4) 마찰계수가 0.3인 여유 있는 감속을 하였다면 초기감속도는 얼마인가?

**풀이**

$$(1) R_r = 0.013W = 0.013(1,500) = 19.5 \text{ kg}$$

$$R_a = 0.0011AV^2 = 0.0011(3)(40)^2 = 5.3 \text{ kg}$$

제동력  $F$ 는 마찰력과 같으므로

$$F = f \cdot W = 0.5(1,500) = 750 \text{ kg}$$

식 (2.2)에서

$$-750 - (19.5 + 5.3) = \frac{1,500a}{9.8}$$

$$a = -5.06 \text{ m/sec}^2$$

$$(2) \text{ 감속 1초 후 속도} = 40 - 5.06 \times 3.6 = 21.8 \text{ kph}$$

감속 1초 후 감속도

$$R_a = 0.0011(3)(21.8)^2 = 1.57 \text{ kg}$$


$$-750 - (19.5 + 1.57) = \frac{1,500a}{9.8}$$

$$a = -5.04 \text{ m/sec}^2$$

$$(3) d = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = \frac{40}{3.6}(1) - \frac{1}{2}(5.06)(1)^2 = 8.6 \text{ m}$$

$$(4) \text{ 제동력 } F = 0.3(1,500) = 450 \text{ kg}$$

$$-450 - (19.5 + 5.3) = \frac{1,500a}{9.8}$$

$$a = -3.1 \text{ m/sec}^2$$


**예제 2.2** 고속도로의 경사가 5% 되는 구간을 100 kph로 달리는 차량이 어떤 위험한 물체를 보고 정지할 수 있는 최소정지거리를 구하라. 단 타이어-노면의 종방향 마찰계수는 0.7이다.

**풀이** 연속교통시설이므로  $t_r = 2.5$ 초

$$\begin{aligned} d &= \frac{V^2}{254(f+s)} + 0.278V \cdot t_r \\ &= \frac{100^2}{254(0.7+0.05)} + (0.278)(100)(2.5) = 122 \text{ m} \end{aligned}$$

**예제 2.3** 5톤 화물차의 출고 시 제원표시가 2.65 t, 83 hp로 되어 있으며 차량의 전부(前部)단면적은 3 m<sup>2</sup>이다. 승객의 체중을 2인 150 kg이라 할 때, 최대적재하중(5톤)에서 다음을 구하라.

- (1) 평지를 주행할 때의 최고속도
- (2) 10% 경사구간을 오를 때의 최고오르막속도(crawl speed)

**풀이** 적재 시 총 중량 = 2,650 + 150 + 5,000 = 7,800 kg

$$(1) R_r = 0.013(7,800) = 101.4 \text{ kg}$$

$$R_a = 0.0011(3)V^2 = 0.0033V^2$$

$$P = 0.00373(101.4 + 0.0033V^2)V = 83$$

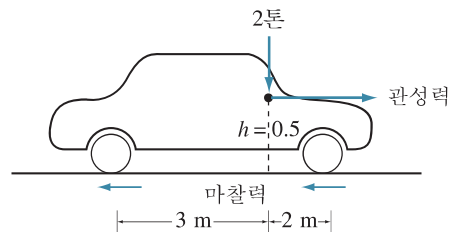
$$\text{그러므로 } V = 137 \text{ kph}$$

$$(2) R_g = 0.01(7,800)(10) = 780 \text{ kg}$$

$$P = 0.00373(101.4 + 780 + 0.0033V^2)V = 83$$

$$\text{그러므로 } V = 25 \text{ kph}$$

**예제 2.4** 중량이 2톤이고 전륜과 후륜 간 거리가 5 m인 차량이 있다. 이 차량의 무게중심은 노면으로부터 50 cm에 있다면, 이 차량이 노면마찰계수 0.7로 급정거했을 때 전륜과 후륜에 걸리는 제동력의 비를 구하라. 단 정지 시 전륜과 후륜의 하중분포는 60 : 40이다. 또 제동 전 초기속도가 80 kph이라면 감속도 및 제동거리는 얼마인가? 단 주행저항은 무시한다.



**풀이** (1) 무게중심  $5 \times 40 / 100 = 2 \text{ m}$  (전륜으로부터 뒤로)

(2) 제동에 의한 관성력은 마찰력과 같으므로,

$$F = 0.7W = 0.7(2,000) = 1,400 \text{ kg (진행방향)}$$

(3) 전·후륜에 걸리는 하중

식 (2.9), (2.10)에서

$$W_R' = 2,000(0.4) - 1,400(0.5) / 5 = 660 \text{ kg}$$

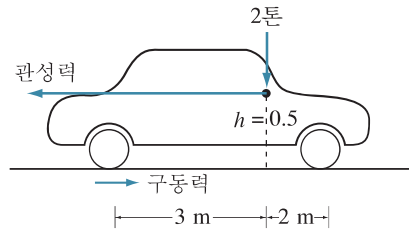
$$W_F' = 2,000(0.6) + 1,400(0.5) / 5 = 1,340 \text{ kg 또는 } 2,000 - 660 = 1,340 \text{ kg}$$

- (4) 전·후륜에 걸리는 제동력의 비  
(전·후륜의 마찰계수는 같으므로 제동력의 비는 하중의 비와 같다.)  

$$W'_R/W'_F = 660/1,340 = 0.49$$
- (5)  $a = f \cdot g = 0.7 \times 9.8 = 6.86 \text{ m/sec}^2$   

$$d = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{(80/3.6)^2}{2 \times 6.86} = 36 \text{ m}$$

**예제 2.5** 중량이 2톤이고 전륜과 후륜 간 거리가 5 m인 후륜구동 차량이 있다. 이 차량의 무게중심은 노면으로부터 50 cm에 있다면, 이 차량이 수평한 도로에서 낼 수 있는 최대가속도를 구하라. 단 타이어와 노면의 최대마찰계수는 0.7이며, 정지 시 전륜과 후륜의 하중분포는 60 : 40이고, 주행 저항은 무시한다.



- 풀이** (1) 정지 시 무게중심  $5 \times 40/100 = 2 \text{ m}$  (전륜으로부터 뒤로)  
 (2) 최대구동력은 후륜에서 나오며 그 크기는  $0.7W'_R$ 와 같다. 즉

$$\frac{2,000a}{g} = 0.7W'_R$$

- (3) 가속 시 후륜하중

$$\begin{aligned} W'_R &= 2,000(0.4) + \text{관성력}(0.5/5) \\ &= 800 + \frac{2,000a}{g}(0.1) = 800 + \frac{200a}{g} \end{aligned}$$

- (4) 따라서

$$\frac{2,000a}{g} = 0.7 \left( 800 + \frac{200a}{g} \right) = 560 + \frac{140a}{g}$$

$$\text{그러므로 } a = 2.95 \text{ m/sec}^2$$

**예제 2.6** 정상시력의 운전자가 30 cm 크기의 어떤 글자를 120 m의 거리에서 읽을 수 있다고 가정할 때, 시력이 0.5인 사람이 그 수준의 판독정도로 이 글자를 읽을 수 있는 최대거리는 얼마인가?

- 풀이**  $v_0 = 1.0$        $l_0 = 120 \text{ m}$        $h_0 = 30 \text{ cm}$   
 $v_1 = 0.5$        $l_1 = ?$        $h_1 = 30 \text{ cm}$

판독정도  $k$ 는 동일하므로, 식 (2.11)에서

$$\frac{h_0 v_0}{l_0} = \frac{h_1 v_1}{l_1}$$

$$l_1 = l_0 \times \frac{h_1 v_1}{h_0 v_0} = 120 \times \frac{30 \times 0.5}{30 \times 1.0} = 60 \text{ m}$$

## 제 4 장

**예제 4.1** 어느 교통류의 도착교통량을 15초 단위로 측정한 결과, 평균 1.8대, 분산 1.9이었다. 이 교통류의 차량도착은 어떤 확률분포를 갖는다고 볼 수 있는가? 그 확률분포를 구하고, 15초에 2대 이하가 도착할 확률을 구하라.

**풀이** 분산/평균 =  $1.9/1.8 \approx 1.0$ 이므로 포아송 도착분포를 갖는다고 본다.

$$P_{(x)} = \frac{1.8^x e^{-1.8}}{x!} \quad (\text{단, } x = 0, 1, 2, \dots)$$

$$P_{(x \leq 2)} = P_{(0)} + P_{(1)} + P_{(2)} = 0.1653 + 0.2975 + 0.2678 = 0.7306$$

**예제 4.2** 임의도착 교통류에서 도착교통량이 시간당 600대이다. 30초 동안에 3대가 도착할 확률을 구하라.

**풀이**  $m = (600/3,600) \times 30\text{초} = 5\text{대}/30\text{초}$

$$P_{(3)} = \frac{5^3 e^{-5}}{3!} = 0.1404$$

**예제 4.3** 임의 도착교통류가 흐르는 어느 도로의 교통밀도는 15대/km이다. 이 도로의 200 m 구간 안에 5대의 차량이 있을 확률을 구하라.

**풀이**  $m = 15 \times (200/1,000) = 3\text{대}/200\text{ m}$

$$P_{(5)} = \frac{3^5 e^{-3}}{5!} = 0.1008$$

**예제 4.4** 어느 교차로에 좌회전 전용차로를 설치하고자 한다. 임의로 도착하는 좌회전 교통량이 시간당 300대이고, 한 주기에서 좌회전할 수 없는 시간길이는 60초이다. 좌회전 전용차로가 85% 제 역할을 하려면 이 길이를 얼마로 해야 하는가? 단, 이전(以前) 주기는 과포화주기가 아니며 대기차량의 차두거리를 6 m로 가정한다.

**풀이**  $m = (300/3,600) \times 60\text{초} = 5\text{대}/60\text{초}$

$$P_{(0)} = 0.0067 \quad P_{(1)} = 0.0337 \quad P_{(2)} = 0.0842 \quad P_{(3)} = 0.1404 \quad P_{(4)} = 0.1755$$

$$P_{(5)} = 0.1755 \quad P_{(6)} = 0.1462 \quad P_{(7)} = 0.1044$$

$$\sum_{x=0}^7 P_{(x)} = 0.867 > 0.85$$

60초 동안에 7대 이하로 도착할 확률이 0.867이므로 전용차로의 길이를 42 m로 하면 86.7% 만족시킨다. 즉, 좌회전 교통량이 많아 이 전용차로가 부족한 경우는 100주기에서 13주기 정도이다.

**예제 4.5** 직진과 좌회전 차량이 무작위로 혼합되어 도착하는 교통류를 관찰한 결과 30%가 좌회전 차량으로 밝혀졌다.

- (1) 5대 중에서 3대가 좌회전 차량일 확률을 구하라.
- (2) 5대 중에서 처음 3대가 좌회전 차량일 확률을 구하라.

**풀이**  $n = 5$

$$p = 0.3 \quad q = 0.7$$

$$B_{(x)} = {}_5C_x (0.3)^x (0.7)^{5-x}$$

$$(1) 0.1323$$

(2) 5대 중에서 처음 3대가 좌회전 차량일 경우의 수는 한 가지 밖에 없으므로  ${}_5C_3$  대신 1이다. 따라서

$$B_{(3)} = (0.3)^3 (0.7)^2 = 0.0132$$

**예제 4.6** 복잡한 도심지 교차로에서 임의차량이 사고를 발생시킬 확률은 0.0001이다. 오후 천두시간에 이 교차로를 통과하는 차량대수가 1,000대일 때, 이 시간대의 사고발생건수가 1일 확률을 구하라.

**풀이** 이항분포를 이용하면,  $B_{(1)} = 1000(0.0001)(0.9999)^{999}$ 이므로 대단히 복잡해진다.  $n$ 이 크고  $p$ 가 매우 작으므로 포아송분포를 이용하면,

$$np = (1000)(0.0001) = 0.1$$

$$P_{(1)} = (0.1)e^{-0.1} = 0.0905$$

**예제 4.7** 교통류 중에서 대형차량이 40% 무작위로 혼합되어 있을 때 20대 중에서 6대가 대형차량일 확률을 이항분포로 구하고, 정규분포로 근사화한 값과 비교하라.

**풀이** (1) 이항분포 이용

$$\text{평균} = np = 20(0.4) = 8$$

$$\text{분산} = npq = 8(0.6) = 4.8$$

$$B_{(6)} = {}_{20}C_6 (0.4)^6 (0.6)^{14} = 0.1244$$

(2) 정규분포 근사화

$$z_1 = \frac{6 - 0.5 - 8}{\sqrt{4.8}} = -1.1411$$

$$z_2 = \frac{6 + 0.5 - 8}{\sqrt{4.8}} = -0.6847$$

$$N(-1.1411 < z < -0.6847) = 0.12$$

**예제 4.8** 복잡한 도심지 교차로에서 임의도착 교통량을 15초 단위로 65회 측정된 결과 평균 값 7.8대, 분산값 4.4를 얻었다. 이에 적합한 확률분포함수를 구하고, 15초에 5대가 도착할 확률을 구하라.

**풀이** 분산/평균비 =  $4.4/7.8 = 0.564 < 1.0$ 이므로 이항분포에 적합하다.

$$n = \frac{7.8^2}{(7.8 - 4.4)} = 17.9 \rightarrow \text{정수화 } 18$$

$$p = \frac{7.8}{18} = 0.433$$

그러므로 이 교통류에 적합한 확률분포함수는

$$B_{(x)} = {}_{18}C_x (0.433)^x (0.567)^{18-x}$$

따라서

$$B_{(5)} = {}_{18}C_5 (0.433)^5 (0.567)^{13} = 0.082$$

(이 문제에서 한 시행은  $15/18 = 0.833$ 초의 경과로 본다. 즉 0.833초 이내에는 한 대도 도착하지 않거나 혹은 한 대만 도착한다고 가정한 것이다.) ■

**예제 4.9** 임의도착 교통류율이 4초에 6대꼴(시간당 5,400대)이며, 분산은 3.6이다. 4초에 3대가 도착할 확률을 구하라.

**풀이** 분산/평균  $< 1.0$ 이므로 이항분포에 적합

$$n = \frac{6^2}{(6 - 3.6)} = 15$$

$$p = \frac{6}{15} = 0.4$$

$$q = 1 - 0.4 = 0.6$$

$$B_{(3)} = {}_{15}C_3 (0.4)^3 (0.6)^{12} = 0.063$$

(이 문제는 한 시행이  $4/15 = 0.267$ 초의 경과로 본 것이다.) ■

**예제 4.10** 임의의 교통류가 이용하는 어느 도로에서 200 m 구간의 밀도를 40회 측정된 결과, 평균 4.5대, 분산 2.52를 얻었다. 밀도를 나타내는 확률분포함수를 구하고, 그 구간의 밀도가 6대일 확률을 구하라.

**풀이** 분산/평균  $< 1.0$ 이므로 이항분포에 적합

$$n = \frac{4.5^2}{(4.5 - 2.52)} = 10.23 \rightarrow 10$$

$$p = \frac{4.5}{10} = 0.45$$

$$B_{(6)} = {}_{10}C_6 (0.45)^6 (0.55)^4 = 0.1596$$

(이 문제는 한 시행을  $200/10 = 20$  m로 본다. 즉, 20 m 안에 한 대도 없거나 한 대가 있을 뿐, 2대 이상이 있는 경우는 없다고 본 것이다.) ■

**예제 4.11** 교통류의 구성이 트럭 10%, 승용차 90%로 이루어져 있다. 3번째 트럭이 통과하기까지 6대의 승용차가 통과할 경우의 확률을 구하라. 단 트럭과 승용차는 임의로 혼합되어 있다.

**풀이**  $p = 0.1 \quad q = 0.9 \quad k = 3 \quad x = 6$

$$N_{(6)} = \frac{(6+3-1)!}{6!(3-1)!} (0.1)^3 (0.9)^6 = 0.0149$$

**예제 4.12** 비보호좌회전과 직진의 공용차로에서 임의로 도착하는 교통류에서 좌회전 차량의 비율이 20%이다. 적색신호에 도착하는 차량 중에서 첫 좌회전 차량 앞에 직진차량이 3대가 있을 확률을 구하라. 단 이전 주기 끝에 남아 있는 차량은 없다.

**풀이**  $p = 0.2 \quad q = 0.8$

$$G_{(3)} = (0.2)(0.8)^3 = 0.1024$$

**예제 4.13** 어느 교차로의 비보호(非保護)좌회전과 직진의 공용(共用)차로에서 적색신호에 임의로 도착하는 첫 좌회전차량 앞에 도착하는 직진차량의 대수를 관측한 결과 평균 3대이었다. 좌회전차량 앞에 직진차량이 2대가 있을 확률을 구하라. 단, 이전 주기 끝에 남아 있는 차량은 없다.

**풀이**  $p = \frac{1}{\text{평균} + 1} = 0.25$

$$q = 0.75$$

$$G_{(2)} = (0.25)(0.75)^2 = 0.1406$$

**예제 4.14** 어느 교차로 접근로에서 임의로 도착하는 이동류의 구성은 좌회전 40%, 직진 50%, 우회전 10%로 되어 있다. 이 접근로에 도착하는 차량 6대 중에서 좌회전이 1대, 직진이 2대, 우회전이 3대일 확률을 구하라.

**풀이**  $p_L = 0.4 \quad p_T = 0.5 \quad p_R = 0.1$

$$M_{(1, 2, 3)} = \frac{6!}{1! 2! 3!} (0.4)(0.5)^2 (0.1)^3 = 0.006$$

**예제 4.15** 차량 정비창(整備廠)에서 정비를 기다리는 승용차 12대와 트럭 3대 중에서 임의로 4대를 우선 정비한다면 이 중에서 트럭이 2대가 포함될 확률을 구하라.

**풀이**  $N = 15 \quad k = 3 \quad n = 4 \quad x = 2$

$$H_{(2)} = \frac{\binom{3}{2} \binom{12}{2}}{\binom{15}{4}} = \frac{198}{1,365} = 0.145$$

**예제 4.16** 교통량이 그다지 많지 않은 도로에서 임의도착분포를 갖는 교통류가 있다. 시간당 도착교통량이 600대일 때 차두시간이 4초보다 작을 확률을 구하라.

**풀이**  $\lambda = \frac{600}{3,600} = \frac{1}{6} \text{ 대/초}$

$$P_{(h < 4)} = \int_0^4 \frac{1}{6} e^{-\frac{t}{6}} dt = 1 - e^{-\frac{2}{3}} = 0.4866$$

**예제 4.17** 임의도착하는 교통류의 교통량이 600 vph이다. 평균 최소허용차두시간이 1.5초일 때 차두시간이 4초보다 작을 확률을 구하라.

**풀이**  $\lambda = \frac{600}{3,600} = \frac{1}{6} \text{ 대/초} \quad \mu = 6 \text{ 초}$

$$\begin{aligned} P_{(h < 4)} &= \int_{1.5}^4 \frac{1}{6 - 1.5} e^{-\frac{t - 1.5}{6 - 1.5}} dt = \int_{1.5}^4 \frac{1}{4.5} e^{-\frac{t - 1.5}{4.5}} dt \\ &= 1 - e^{-\frac{2.5}{4.5}} = 0.4262 \end{aligned}$$

**예제 4.18** 임의도착 교통류에서 200초 동안 51대의 차두시간을 측정한 결과 평균 4.017초, 분산 8.067을 얻었다. Erlang분포를 이용하여 차두시간이 1.5초보다 작을 확률을 구하라.

**풀이**  $\lambda = \frac{4.017}{8.067} = 0.498 \quad k = 0.498 \times 4.017 = 2.0$

그러므로 분포함수는 다음과 같다.

$$f(t) = 0.498 e^{-0.498t} 0.498t = 0.248t e^{-0.498t}$$

$$P_{(h < 1.5)} = 1 - e^{-0.498(1.5)} [1 + 0.498(1.5)] = 0.1723$$



**예제 4.19** 교통량이 1,800 vph이고 통행속도가 60 kph인 어느 교통류에 10 kph인 저속차량이 진입하여 3분간 주행한 후 이 도로를 벗어났으며, 이때 생성된 차량군은 교통량 2,000 vph, 통행속도 50 kph인 교통류 상태로 와해되었다. 차량군의 밀도를 90 vpk라 할 때 (1) 차량군 생성 속도, (2) 차량군 최대길이, (3) 차량군 소멸속도, (4) 차량군 소멸 소요시간을 구하라.

**풀이**

$q_1 = 1,800$	$q_2 = 10 \times 90 = 900$	$q_3 = 2,000$	$q_4 = 0$
$u_1 = 60$	$u_2 = 10$	$u_3 = 50$	$u_4 = u_f$
$k_1 = \frac{1,800}{60} = 30$	$k_2 = 90$	$k_3 = \frac{2,000}{50} = 40$	$k_4 = 0$

(저속차량에 의한 차량군이 생성될 때 차량군 하류부는  $k = 0$  상태가 된다.)

$$u_{w(1-2)} = \frac{900 - 1,800}{90 - 30} = -15 \text{ kph}$$

$$u_{w(2-3)} = \frac{2,000 - 900}{40 - 90} = -22 \text{ kph}$$

$$u_{w(3-4)} = \frac{0 - 2,000}{0 - 40} = 50 \text{ kph}$$

$$u_{w(1-3)} = \frac{2,000 - 1,800}{40 - 30} = 20 \text{ kph}$$

$$(1) u_{Q2} = u_2 - u_{w(1-2)} = 10 - (-15) = 25 \text{ kph}$$

$$(2) Q_{\max 2} = 25 \times \frac{3}{60} = 1.25 \text{ km}$$

$$(3) u_{Q2} = u_{w(2-3)} - u_{w(1-2)} = -22 - (-15) = -7 \text{ kph (소멸)}$$

$$(4) T_{Q2} = \frac{Q_{\max 2}}{u_{Q2}} = \frac{1.25}{7} = 0.18 \text{ 시간}$$

**예제 4.20**  $q = -0.8k^2 + 80k + 50$ 의 관계를 갖는 교통류에서 교통량이 2,000 vph이며 비혼잡 상태인 교통류에 10 kph인 저속차량이 진입하여 3분간 달리다가 이 도로를 벗어났다. 이때 생성된 차량군은 밀도 50 vpk의 교통류로 와해되었다. (1) 저속차량에 의한 차량군의 생성속도, (2) 차량군 최대길이, (3) 차량군 소멸속도, (4) 차량군 소멸 소요시간, (5) 차량군이 완전 소멸되는 지점의 위치를 구하라.

**풀이** 가)  $q_1 = 2,000 = -0.8k_1^2 + 80k_1 + 50$ 에서  $k_1 = 42$  또는 58 vpk,  
비혼잡상태의 밀도는 이 중 작은 값인  $k_1 = 42$  vpk이다.

$$u_1 = \frac{2,000}{42} = 47.6 \text{ kph}$$

나)  $-0.8k_2^2 + 80k_2 + 50 = 10 \cdot k_2$ 에서

$$k_2 = 88 \text{ vpk}$$

$$u_2 = 10 \text{ kph}$$

$$q_2 = 10 \times 88 = 880 \text{ vph}$$

다)  $k_3 = 50$  vpk이므로

$$q_3 = -0.8(50)^2 + 80(50) + 50 = 2,050 \text{ vph}$$

$$u_3 = \frac{2,050}{50} = 41 \text{ kph}$$

라) 와해 교통류 하류부는 차량이 없으므로,

$$k_4 = 0 \quad u_4 = u_f \quad q_4 = 0$$

(이 모형은  $k = 0$ 일 때  $q = 50$ 이므로 Greenberg 모형처럼 밀도가 낮은 상태는 잘 설명하지 못함을 알 수 있다. 따라서 이와 같은 상태는 상식적인 판단에 의한다.)

$$u_{w(1-2)} = \frac{880 - 2,000}{88 - 42} = -24.3 \text{ kph}$$

$$u_{w(2-3)} = \frac{2,050 - 880}{50 - 88} = 30.8 \text{ kph}$$

$$u_{w(3-4)} = \frac{0 - 2,050}{0 - 50} = 41 \text{ kph}$$

$$u_{w(1-3)} = \frac{2,050 - 2,000}{50 - 42} = 6.25 \text{ kph}$$

$$(1) u_{Q2} = u_2 - u_{w(1-2)} = 10 - (-24.3) = 34.3 \text{ kph}$$

$$(2) Q_{\max 2} = 34.3 \times \frac{3}{60} = 1.72 \text{ km}$$

$$(3) u_{Q2} = u_{w(2-3)} - u_{w(1-2)} = -30.8 - (-24.3) = -6.5 \text{ kph (소멸)}$$

$$(4) T_{Q2} = \frac{1.72}{6.5} = 0.26 \text{ 시간}$$

$$(5) P_2 = 0.26(-30.8) = -8 \text{ km (차량 진출지점으로부터 상류 쪽)}$$

**예제 4.21** 한 차로에서 앞차량이 급정거할 때 뒤차량이 뒤따라 안전하게 정지할 수 있는 거리를 유지하려면, 이 교통류의 용량과 이때의 속도는 얼마이어야 하는가? 단 앞차량과 뒤차량의 감속도는  $2.5, 2.0 \text{ m/sec}^2$ , 정지 시 두 차량 간의 차두거리는  $5.0 \text{ m}$ , 운전자의 반응시간은  $1.0$ 초이다.

**풀이** 앞차량 1, 뒤차량 2,  $s =$  차두거리(spacing)

문제에서  $s$ 의 일반식은 식 (4.48)에서

$$s = 5 + u_2 \times \text{반응시간} + \frac{u_2^2}{2 \times 2} - \frac{u_1^2}{2 \times 2.5}$$

여기서 안정상태일 때의  $u_1$ 과  $u_2$ 의 차이는 극히 작다고 볼 수 있다.

$$\text{따라서 } s = 5 + u + 0.05u^2$$

$$\text{엄밀히 말하면 } u = \frac{u_1 + u_2}{2} \text{ 이다.}$$

차두시간(headway) = 차두거리/속도

$$h = \frac{s}{u} = \frac{5 + u + 0.05u^2}{u}$$

$$q = \frac{u}{5 + u + 0.05u^2}$$

$$\frac{dq}{du} = \frac{5 - 0.05u^2}{(5 + u + 0.05u^2)^2} = 0$$

$$u = 10 \text{ m/sec} = 36 \text{ kph} \text{ 일 때 } q \text{ 최대, 즉}$$

$$q_m = 0.5 \text{ 대/sec} = 1,800 \text{ vph}$$

**예제 4.22** 어느 대기행렬 시스템이  $(M/M/1)$ 일 때,  $E(n) - \rho = E(n) \cdot \rho$ 임을 증명하라.

**풀이** [표 4.3]에서  $E(n) = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$ 이다.

$$E(n) - \rho = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} - \rho = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} - \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$E(n) \cdot \rho = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \times \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

따라서 두 값은 다 같이  $E(n)$ 을 나타낸다. ■

**예제 4.23** 어느 대기행렬 시스템이  $(M/M/1)$ 일 때,  $E(v) - \frac{1}{\mu} = E(v) \cdot \rho$ 임을 증명하라.

**풀이** [표 4.3]에서  $(M/M/1)$ 의 경우,  $E(v) = \frac{1}{\mu - \lambda}$ 이다.

$$E(v) - \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu - \lambda} - \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$E(v) \cdot \rho = \frac{1}{\mu - \lambda} \times \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

따라서 두 값은 다 같이  $E(v)$ 을 나타낸다. ■

**예제 4.24** 어느 대기행렬 시스템이  $(M/M/1)$ 의 형태를 갖는다. 대기차량만의 평균대기시간  $E(w)'$ 는 이 대기시스템 내의 평균체류시간  $E(v)$ 와 같음을 증명하라.

**풀이** 대기할 확률은  $\rho$ 이며, 대기하지 않을 확률은  $(1 - \rho)$ 이므로 전체차량에 대한 평균대기시간  $E(w)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E(w) = E(w)' \times \rho + 0 \times (1 - \rho)$$

따라서 대기차량만의 평균대기시간  $E(w)'$ 은

$$E(w)' = \frac{E(w)}{\rho} = \frac{1}{\mu - \lambda} \text{이므로}$$

이 값은  $E(v)$ 와 같다. ■

**예제 4.25** 어느 유료주차장은 1개의 출구에서 주차요금을 징수하고 있다. 주차요금을 내기 위해서 무작위로 도착하는 차량은 시간당 120대 꼴이다. 요금을 지불하는 시간은 평균 18초인 음지수분포를 갖는다. 이 주차장의 운영특성에 관해서 다음 물음에 답하라. (1) 요금징수소가 비어 있을 확률, (2) 시스템 내에 3대가 있을 확률, (3) 만약 대기하는 차량이 3대 이상이면 대기공간이 좁아서 주차장 내부 운영에 큰 지장을 받는다. 지장을 받을 확률은 얼마인가? (4) 대기공간을 몇 대분 확보해야 주차장 내부 운영에 지장을 받지 않을 확률이 적어도 95% 이상이 되는가? (5) 평균대기차량 대수는 얼마인가? (6) 시스템 내의 평균잔류차량 대수는 몇 대인가? (7) 평균대기시간은? (8) 시스템 내의 평균체류시간은? (9) 평균대기시간이 1분 이상이면 요금징수소를 증설하려고 한다. 요금을 지불하기 위해 도착하는 차량이 시간당 몇 대 이상이면 증설하는가? (10) 평균대기차량이 2대 이상이면 요금징수소를 증설하려고 한다. 요금을 지불하기 위해 도착하는 차량이 시간당 몇 대 이상이면 증설하는가?

**풀이** 도착률  $\lambda = \frac{120}{60} = 2 \text{ 대/분}$

서비스율  $\mu = \frac{60}{18} = 3.33 \text{ 대/분}$

이용계수  $\rho = 2/3.33 = 0.6$

(1) 요금징수소가 비어 있을 확률

$$P_{(0)} = 1 - \rho = 0.4$$

(2) 대기시스템 내에 3대가 있을 확률

$$P_{(3)} = \rho^3 \cdot P_{(0)} = (0.6)^3 (0.4) = 0.084$$

(3) 서비스 받는 차량까지 4대이므로

$$P_{(n \geq 4)} = 1 - P_{(n \leq 3)} = \rho^4 = 0.1296$$

(4)  $P_{(n \leq 4)} = 1 - P_{(n \geq 5)} = 1 - \rho^5 = 0.9222$

$$P_{(n \leq 5)} = 1 - P_{(n \geq 6)} = 1 - \rho^6 = 0.9533$$

따라서 시스템 내에 5대(대기 4대, 서비스 1대)의 공간을 확보하면 된다.

(5) 평균대기차량 대수

$$E(m) = \frac{0.6^2}{1 - 0.6} = 0.9 \text{ 대}$$

(6) 시스템 내의 평균차량대수

$$E(n) = \frac{0.6}{1 - 0.6} = 1.5 \text{ 대}$$

(7) 평균대기시간

$$E(w) = \frac{2}{3.33(3.33 - 2)} = 0.45 \text{ 분}$$

(8) 시스템 내의 평균체류시간

$$E(v) = 0.45 \text{ 분} + 18 \text{ 초} = 0.75 \text{ 분}$$

(9)  $E(w) = \frac{\lambda}{3.33(3.33 - \lambda)} = 1 \text{ 분}$

$$\lambda = 2.546 \text{ 대/분} = 154 \text{ 대/시간}$$

(10)  $E(m) = \frac{\lambda^2}{3.33(3.33 - \lambda)} = 2 \text{ 대}$

$$\lambda = 2.44 \text{ 대/분} = 146 \text{ 대/시간}$$

**예제 4.26** 앞의 예제와 같은 상황에서 요금징수소가 2개이며, 대기행렬은 한 줄만 가능하다. 이때의 주차장 운영특성을 다음 물음에 따라 분석하라. (1) 요금징수소가 비어 있을 확률, (2) 대기시스템 내에 3대가 있을 확률, (3) 대기공간을 몇 대분 확보해야 주차장 내부 운영에 지장을 받지 않을 확률이 적어도 95%가 되는가? (4) 평균대기차량대수는? (5) 시스템 내의 평균차량대수는? (6) 평균대기시간은? (7) 시스템 내 평균체류시간은?

**풀이**  $\lambda = \frac{120}{60} = 2 \text{ 대/분}$

$$\mu = \frac{60}{18} = 3.33 \text{ 대/분}$$

$$s = 2$$

$$\rho = 2/3.33 = 0.6$$

$$\rho/s = 0.6/2 = 0.3$$

(1) 요금징수소가 비어 있을 확률

$$P_{(0)} = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^s}{s!(1-\rho/s)}} = \frac{1}{\sum_{n=0}^1 \frac{(0.6)^n}{n!} + \frac{(0.6)^2}{2!(1-0.3)}} = 0.5385$$

(2) 대기시스템 내에 3대가 있을 확률

$3 > s$  이므로

$$P_{(3)} = \frac{\rho^n}{s^{n-s} \cdot s!} \cdot P_{(0)} = \frac{(0.6)^3}{2 \cdot 2!} \cdot (0.5385) = 0.0291$$

(3) 대기공간을 몇 대분 확보해야 주차장 내부 운영에 지장을 받지 않는가?

$$P_{(n \leq 1)} = P_{(0)} + P_{(1)} = 0.5385 + \frac{0.6}{1} (0.5385) = 0.8616$$

$$P_{(n \leq 2)} = P_{(n \leq 1)} + P_{(2)} = 0.8616 + \frac{0.6^2}{2} (0.5385) = 0.9585$$

따라서 시스템 내에 2대(서비스 2대), 즉 서비스 받을 공간만 필요하고 대기공간은 필요 없다. 도착률이 커질 경우 대기공간을 확보하는 비용과 요금징수소를 하나 더 설치하는 비용을 비교하여 결정하는 것이 좋다.

(4) 평균대기차량대수

$$E(m) = \frac{P_{(0)} \cdot \rho^{s+1}}{s! \cdot s} \left[ \frac{1}{(1-\rho/s)^2} \right] = \frac{0.5385 (0.6)^3}{2(2)} \left[ \frac{1}{(1-0.3)^2} \right] = 0.0593 \text{ 대}$$

(5) 시스템 내의 평균차량대수

$$E(n) = 0.6 + 0.0593 = 0.6593 \text{ 대}$$

(6) 평균대기시간

$$E(w) = \frac{E(m)}{\lambda} = 0.0593/2 = 0.0297 \text{ 대}$$

(7) 시스템 내 평균체류시간

$$E(v) = \frac{E(n)}{\lambda} = 0.6593/2 = 0.3297 \text{ 분}$$

**예제 4.27** 용량이 5,700 vph이고 침두시간의 균일도착 교통수요가 4,500 vph인 고속도로에서 차량 한 대가 고장이 나서 용량이 4,200 vph로 줄어들었다. 고장수리시간이 15분일 때 (1) 대기행렬이 완전히 해소되는 시간은 수리(修理)가 끝난 후 얼마 지나서인가? (2) 최대대기행렬 길이는 얼마인가? (3) 총 지체시간 및 차량당 평균지체시간을 구하라.

**풀이** (1)  $t_0 = r \left( \frac{q - s_r}{s - q} \right) = \frac{15}{60} \left( \frac{4,500 - 4,200}{5,700 - 4,500} \right) = 3.75 \text{분}$

(2)  $Q_m = r(q - s_r) = \frac{15}{60} (4,500 - 4,200) = 75 \text{대}$

(3)  $D = \frac{Q_m(r + t_0)}{2} = \frac{75 \times (15 + 3.75)}{2} = 703 \text{대} \cdot \text{분}$

총 지체차량대수  $N = q(r + t_0) = 4,500 \times \frac{15 + 3.75}{60} = 1,406 \text{대}$

차량당 평균지체  $d = \frac{D}{N} = \frac{703}{1,406} = 0.5 \text{분}$

## 제 5 장

**예제 5.1** 지방부 2차로 국도에서 평균지점속도를 추정하고자 한다. 95% 신뢰수준에서 허용오차  $\pm 2 \text{ kph}$ 가 되게 하려면 표본수는 얼마이어야 하는가? 만약 허용오차를  $\pm 1 \text{ kph}$  되게 하려면 필요한 표본수는?

**풀이** 지방부 국도 2차로도로에서 지점속도의 일반적인 표준편차는  $\sigma = 8.5 \text{ kph}$  ([표 5.9])

(1)  $n = \left( \frac{1.96 \times 8.5}{2} \right)^2 = 70 \text{개}$

(2)  $n = \left( \frac{1.96 \times 8.5}{1} \right)^2 = 278 \text{개}$

**예제 5.2** 어느 지점에 속도규제 표지를 설치한 결과 속도감소 효과가 있는지를 95% 신뢰수준으로 알고 싶다. 속도규제 표지를 설치하기 전과 설치한 후의 현장관측자료는 다음과 같다.

구분	조사차량대수	평균속도	속도의 표준편차
설치 전	45	67 kph	8.3 kph
설치 후	49	61 kph	7.8 kph

**풀이** 단측검증(one-tail test)이며, 식 (5.6)을 이용하면

$$z = \frac{61 - 67}{\sqrt{\frac{7.8^2}{49} + \frac{8.3^2}{45}}} = -3.6 < z_{0.05} = -1.64$$

따라서 속도감소 효과가 있다고 95% 신뢰수준에서 말할 수 있다.

**예제 5.3** 어느 도로구간을 4회 시험주행한 결과 55, 62, 48, 58 kph의 통행속도를 얻었다. 이 조사의 목적이 사전·사후조사 분석이며 허용오차를  $\pm 2.0$  kph라 할 때, 95% 신뢰수준에서의 표본수를 구하라.

**풀이**  $S_1 = \text{절댓값}(55 - 62) = 7$

$$S_2 = \text{절댓값}(62 - 48) = 14$$

$$S_3 = \text{절댓값}(48 - 58) = 10$$

$$\text{식 (5.7)에서 } R = (8 + 4 + 10) / (4 - 1) = 7$$

[표 5.10]에서 통행속도 평균범위  $7 < 10$ 와 허용오차  $\pm 2.0$  kph의 최소표본수는 8이다. 따라서 추가적으로 4회 더 측정해야 한다. 그러나 총 8회 측정하여 위의 공식을 사용하면 통행속도의 평균범위가 10 kph의 범위를 벗어날 수도 있으나 그런 경우는 매우 드물다. ■

**예제 5.4** 어느 도(道) 내에 있는 국도 어느 한 구간의 지난 한 해의 사고율은 210건/억 대·km이었다. 이 도의 모든 국도의 평균사고율은 89건/억 대·km이며 표준편차는 64건/억 대·km이었다. 이 구간의 위험도, 즉 이 구간이 사고 잦은 장소인지를 95% 신뢰수준에서 판정하라.

**풀이** (1) 이 도로구간의 임계사고율  $U_L$ 은 식 (5.10)에서

$$\begin{aligned} U_L &= X_N + k \times S \\ &= 89 + 1.645 \times 64 = 194 \text{ 건/억 대} \cdot \text{km이다.} \end{aligned}$$

(2) 실제 사고율은 210건/억 대·km이므로 이 구간은 사고 위험성이 높은 구간이라고 95% 신뢰성을 가지고 말할 수 있다. ■

**예제 5.5** 하루에 15,400대의 차량이 통과하는 200 m 도로구간의 도시간선도로에서 3년간의 교통사고는 39건이었다. 이와 유사한 도로의 우리나라 평균치는 1억 대·km당 3년간 615건이다. 이 도로구간의 사고율을 구하고, 이 구간의 위험도, 즉 이 구간이 사고 잦은 장소인지를 유의수준 5%에서 판정하라.

**풀이** (1) 이 도로구간의 사고율 계산

$$\text{노출률 } V_i = 3\text{년} \times 365\text{일} \times 15,400\text{대} \times 0.2 \text{ km} = 0.0337\text{억 대} \cdot \text{km}$$

$$\text{실제 사고율 } R_i = \frac{39}{0.0337} = 1,160 \text{ 건/억 대} \cdot \text{km}$$

(2) 임계사고율 계산( $CR_i$ )

$$\begin{aligned} CR_i &= X_R + k \left( \frac{X_R}{V_i} \right)^{0.5} + \frac{1}{2V_i} = 615 + 1.645 \left( \frac{615}{0.0337} \right)^{0.5} + \frac{1}{2 \times 0.0337} \\ &= 852 \text{ 건/억 대} \cdot \text{km} \end{aligned}$$

(3) 위험도 계산 및 평가

$$\text{위험도} = \frac{1,160}{852} = 1.4 > 1.0$$

그러므로 이 도로구간은 위험한 구간(사고 잦은 장소)이다. ■

**예제 5.6** 교통량이 전 구간에 걸쳐 거의 일정한 지방부 2차로 국도 2 km 내의 지난 3년간 사고발생건수는 15건이었으며, 이 구간 내에 있는 200 m 곡선구간에서의 사고는 5건이었다. 이 구간과 교통조건이 유사한 도로구간의 우리나라 평균을 예측한 결과는 전 구간 13건, 200 m 구간 1.5건이었다. 이 도로구간의 200 m 곡선구간이 신뢰수준 95%에서 사고 위험성이 높은지를 판정하라.

**풀이** (1) 이 구간의 곡선부 사고건수 비율

$$P_i = \text{곡선부 사고건수} / \text{전체 구간 사고건수} = 5 / 15 = 0.333$$

(2) 임계사고건수 비율( $CP_i$ )

$$X_p = 1.5 / 13 = 0.115$$

$$N_i = 15 \text{ 건}$$

$$CP_i = X_p + k \sqrt{\frac{X_p(1-X_p)}{N_i}} = 0.115 + 1.645 \sqrt{\frac{0.115 \times 0.885}{15}} = 0.25$$

(3) 위험도 계산 및 평가

$$\text{위험도} = \frac{0.333}{0.25} = 1.3 > 1.0$$

그러므로 이 도로구간의 곡선부는 다른 도로의 곡선구간보다 위험하다. ■

**예제 5.7** 어느 건물의 주차장을 건설하고자 한다. 주차첨두시간은 11:00~14:00까지로 예상되며, 이 동안의 주차수요는 100대, 평균주차시간은 1.5시간으로 추정된다. 다음 물음에 답하라.

- (1) 첨두 3시간의 평균점유율을 0.7로 하고 싶다. 소요주차면수는 얼마인가? 또 이렇게 건설되었을 때의 평균회전수는 얼마인가?
- (2) 이 주차장 내부 순환의 어려움 때문에 효율계수가 0.9를 넘을 수 없다. 위의 주차수요를 만족시키려면 최소 주차면수를 얼마로 해야 하는가? 또 이때의 평균회전수는 얼마인가?
- (3) 이 주차장의 부지가 50면으로 제한되어 있다. 첨두시간 동안에 주차할 수 있는 최대 주차가능대수는 몇 대인가?

**풀이**  $V = 100$ 대,  $D = 1.5$ 시간,  $G = 3$ 시간,  $O = 0.7$ ,  $e = 0.9$

(1) 소요주차면수( $C$ )  $VD/HO = 100 \times 1.5 / (3 \times 0.7) = 72$ 면

평균회전수( $T$ )  $V/C = 100/72 = 1.4$ 회/3시간

(2) 소요주차면수( $C$ )  $VD/He = 100 \times 1.5 / (3 \times 0.9) = 56$ 면

평균회전수( $T$ )  $V/C = 100/56 = 1.8$ 회/3시간

(3) 최대 주차가능대수( $V$ )  $CHe/D = 50 \times 3 \times 0.9 / 1.5 = 90$ 대 ■



## 제 6 장

**예제 6.1** 설계속도 100 kph인 한 방향 2차로 고속도로의 기본구간에서 한 방향의 첨두시간교통량이 2,000 vph이고 첨두시간계수는 0.95이며, 이 중에 소형트럭이 5%, 2.5톤 트럭 이상의 중차량이 20% 포함되어 있다. 차로폭은 3.5 m이며 중앙분리대가 있고 측대의 폭이 1.0 m이나 시거에 제약을 주며, 도로변 갓길의 폭은 2.5 m이다. 지형은 구릉지이고 경사가 4% 되는 구간이 있기는 하나 길이가 그다지 길지 않은(500 m 이하) 2 km의 도로구간이다. 서비스수준을 구하고 용량에 도달하기까지의 여유용량을 구하라. 또 밀도와 평균통행속도를 추정하라.

**풀이** • 특정경사구간으로 분리해야 할 구간이 없으므로 일반지형으로 분석한다.

- $v_p = 2,000/0.95 = 2,105$  vph
- 장애물은 시거에 지장을 주는 왼쪽 중앙분리대이다.  
KHCM에 의하면  $f_w = 0.98$
- 구릉지이므로, KHCM에서  $E_{T0} = 1.2$ ,  $E_{T12} = 3.0$   
따라서  $f_{HV} = 1/[1 + 0.05(0.2) + 0.2(2)] = 0.71$
- 설계속도 100 kph일 때의  $c_{100} = 2,200$  pcphpl

(1) 서비스수준

① 방법 1

$$\begin{aligned} \text{용량 } c &= c_j \times N \times f_w \times f_{HV} = 2,200 \times 2 \times 0.98 \times 0.71 = 3,062 \text{ vph} \\ v_p/c &= 2,105/3,062 = 0.69 \\ (v/c)_C &= 0.61 < 0.69 < (v/c)_D = 0.80 \rightarrow \text{서비스수준은 D} \end{aligned}$$

② 방법 2

$$\begin{aligned} SF_C &= 2,200 \times (0.61) \times 2 \times 0.98 \times 0.71 = 1,868 \text{ vph} \\ SF_D &= 2,200 \times (0.8) \times 2 \times 0.98 \times 0.71 = 2,449 \text{ vph} \\ 1,868 &< 2,105 < 2,449 \rightarrow \text{서비스수준은 D} \end{aligned}$$

(2) 여유용량

$$\begin{aligned} 3,062 - 2,105 &= 957 \text{ vph (첨두15분 교통류율)} \\ 957 \times 0.95 &= 909 \text{ vph (1시간 교통량)} \end{aligned}$$

(3) 밀도 및 속도 추정

- [표 6.2]에서  $v/c = 0.69$ 에 해당되는 밀도를 계산, 밀도 = 16.1 대/km
- 교통량 = 밀도  $\times$  속도 관계식을 이용  
차로당 승용차환산 교통량  $2,105/(2 \times 0.71) = 1,482$  pcphpl  
속도 =  $1,482/16.1 = 92$  kph

**예제 6.2** A지방과 B지방을 연결하는 고속도로를 설계속도 100 kph, 서비스수준 C로 설계하고자 한다. 어느 기본구간의 예상 경사는 2% 미만이다. 목표연도의 AADT가 40,000대로 추정되며, 이 중에서 첨두시간의 교통류에는 2.5톤 이상의 트럭과 대형버스가 23%, 대형트럭이 2% 혼합되리라 예상된다. PHF = 0.90일 때 기본구간의 차로수를 결정하라. 또 건설한 후의 서비스수준, 밀도, 통행속도를 추정하라. 단 K계수와 D계수는 지방부의 일반적인 값을 적용한다.

**풀이** 경사가 2% 미만이므로 일반지형의 평지부이다.

설계속도 100 kph의  $c_j = 2,200$  pcphpl이다.

① 수요 교통량 산정

- $K = 0.15$ ,  $D = 0.65$ ,  $PHF = 0.9$
- $AADT = 40,000$ 대/일
- 침두시간교통량  $= 40,000 \times 0.15 = 6,000$  vph
- 침두시간 설계교통량( $PDDHV$ )  $= 6,000 \times 0.65 / 0.9 = 4,333$  vph

② 차로당 서비스교통량 산정

- 차로폭 3.5 m, 측방여유폭 1.5 m 이상으로 가정
- KHCM에 의하면  $f_w = 1.0$ ,  $E_{T2} = 1.5$ ,  $E_{T12} = 2.0$ 이므로
- $f_{HV} = 1 / [1 + 0.23(1.5 - 1) + 0.02(2.0 - 1)] = 0.88$
- $(v/c)_c = 0.61$  ([표 6.2])
- $SF_c = 2,200 \times (0.61) \times 0.88 = 1,181$  vphpl

③ 차로수 계산

$4,333 / 1,181 = 3.7 \rightarrow 4$ 차로 (한 방향)  $\rightarrow$  양방향 8차로가 필요

④ 8차로로 건설할 때의 서비스수준 분석

- 용량  $= 2,200 \times 4 \times 0.88 = 7,744$  vph
- $v_p/c = 4,333 / 7,744 = 0.56 \rightarrow$  서비스수준 C

⑤ 8차로일 때의 밀도, 속도 추정

- 밀도  $= 12.8$  대/km [표 6.2] 이용 계산
- 차로당 pcu  $= 4,333 / (4 \times 0.88) = 1,231$  pcphpl
- 속도  $= 1,231 / 12.8 = 96$  kph

**예제 6.3** 평지부에 편도 3차로이며 설계속도 80 kph인 도시부 고속도로를 건설하려고 한다. 이 도로의 어느 해의 교통수요는 하루 55,000대이고 매년 4% 정도의 증가추세를 보일 것으로 예측되며 이 교통에는 2.5톤 이상의 중형트럭이 10% 포함될 것으로 예상된다. 이 도로의 확장시기를 검토하라. 단, PHF는 0.95이며, 설계 서비스수준은 D이고,  $K$  및  $D$ 계수는 도시부 고속도로의 일반값으로 한다.

**풀이** ① 설계상 특별한 제약이 없으므로 차로폭, 측방여유폭은 이상적인 값으로 한다. 따라서  $f_w = 1.0$

② 중차량 보정계수  $f_{HV} = 1 / [1 + 0.1(1.5 - 1)] = 0.95$

③  $K = 0.09$ ,  $D = 0.6$ 인 일반적인 값 사용

④ 2003년의 침두시간교통량  $= 55,000 \times 0.09 = 4,950$  vph

침두시간 설계교통량  $= 4,950 \times 0.6 / 0.95 = 3,126$  vph

⑤ 용량  $c = c_j \times N \times f_w \times f_{HV} = 2,000 \times 3 \times 1.0 \times 0.95 = 5,700$  vph

$(v/c)_D$ 의 하한값  $= 0.75$ 를 초과하면 확장을 고려한다.

즉,  $v_p$ 가  $5,700 \times 0.75 = 4,275$  vph를 초과하면 확장을 고려한다.

⑥  $3,126 \times (1.04)^n = 4,275$

$n = 7.98$

8년 후에는 서비스수준 D에 도달되므로 그 이전에 도로확장이 검토되고 또 건설이 완료되어야 한다.

## 예제 6.4 운영분석

운영분석은 교차로 구조, 교통조건 및 교통운영조건이 주어지고 교차로의 서비스수준을 구하는 과정이다. 운영분석은 ① 입력자료 및 교통량 보정, ② 직진환산계수 산정, ③ 차로군 분류, ④ 포화 교통량 산정, ⑤ 서비스수준 결정의 단계를 거쳐 이루어진다. 각 단계의 계산과정은 해당 분석표를 이용할 수 있다. 이 분석표는 위의 계산과정과 같은 순서로 구성되어 있으나, 한 과정이 반드시 한 장의 분석표에 표시되는 것은 아니다. 이 설명에서 원 안의 번호는 해당되는 그림의 각 항목의 번호와 일치한다.

### 1 입력자료(운영분석표 1)

입력자료는 교차로 기하구조, 교통량, 신호조건 등 분석에 필요한 모든 도로, 교통조건 및 교통운영조건을 망라한다. 기존 교차로를 분석한다면, 대부분의 자료는 현장에서 관측한다. 반면에 장래의 조건을 분석하고자 한다면, 예측된 교통량 자료를 사용하고 교차로 기하구조 및 신호조건은 주어진 값을 사용한다. [그림 6.5]는 자료입력에 사용되는 운영분석표이다. 이 분석표의 맨 위 부분은 분석대상 교차로의 이름, 주변의 토지이용특성, 자료조사 시간 및 조사자의 이름을 기록한다. 그 아래 부분은 교차로의 기하구조 및 좌회전운영의 종류를 스케치한다. 또 교차로 전체에 일률적으로 적용되는 값, 예를 들어 분석기간, 중차량 혼입률( $P$ ), 출발지연시간(start-up delay), 진행연장시간(end lag) 등 필요한 자료와 버스베이(bus bay) 유무를 여기에 기입한다. 우리나라에서는 출발지연시간을 2.3초, 진행연장시간을 2.0초로 통일하여 사용하고 있다. 따라서 유효녹색시간은 녹색신호시간보다 0.3초 짧다.

분석과정의 이해를 돕기 위하여 대표적인 한 접근로의 자료를 사용하여 앞으로 모든 과정을 설명하도록 한다. 분석은 [그림 6.5]의 운영분석표에 나타난 교차로의 동향(EB) 접근로를 대상으로 한다.

#### (1) 그림으로 반드시 표현되어야 할 사항

- ① 차로수
- ② 좌회전 전용차로 유무
- ③ 교통섬, 횡단보도
- ④ 차로의 이용상황

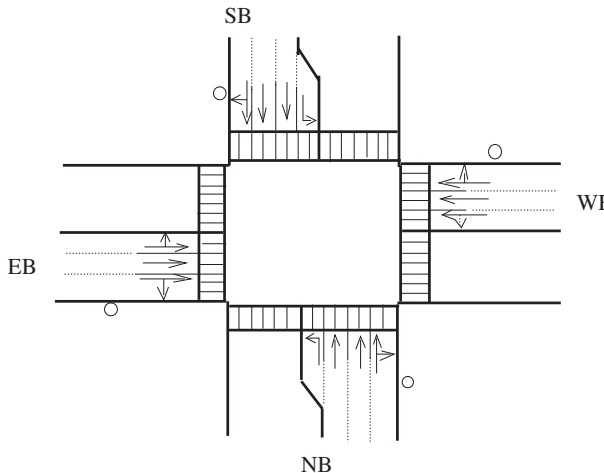




좌회전 전용차로의 길이는 충분하다고 가정하고 이 길이의 영향은 분석에서 고려하지 않는다.

#### (2) 그림과 함께 제시할 자료

- ① 분석기간: 보통 15분 단위(0.25 시간)로 한다.
- ② 중차량 혼입률
- ③ 각 접근로별 버스베이 유무

#### (3) 각 접근로별로 기입할 사항

- ① 이동류별 교통량(vph): 첨두15분 교통량은 좌회전 90 vph, 직진 450 vph, 우회전 100 vph이다.
- ② 차로이용률 보정: 직진만 이용하는 차로수가 1개이므로 보정계수는 1.0이다([표 6.4]).

입력자료												
교차로명: A도로 × B도로				조사시간: 2023. 4. 26. 15:30~15:45								
지점특성: 일반업무지구				조사자: 장삼오, 이사육								
										<div>기타</div> <div>① 분석기간: 0.25시간</div> <div>② 중차량 혼입률(<math>P</math>)=5%</div> <div>③ 버스베이: NB만 있음</div>		
교통 및 신호												
접근로 및 이동류	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
① 교통량, $v_H$ (vph)	90	450	100									
② 차로이용률 보정[표 6.4]	1.0											
③ RTOR 보정[표 6.5]	0.5											
④ 보정교통량, $v$ (vph)	90	450	50									
⑤ 초기 대기차량, $Q_b$ (vph)	0											
⑥ U턴 교통량(vph)	0											
⑦ 진출입 교통량, $v_{dw}$ (vph)	40											
⑧ 횡단보행자수*(인/시)	600											
⑨ 버스정차대수, $v_b$ (vph)	11											
⑩ 주차활동대수, $v_p$ (vph)	10											
⑪ 상류 링크길이(m)	400											
⑫ 순행속도(kph)	50											
⑬ 차로폭/경사/좌회전 곡선반경	3.3/0/13											
신호현시 및 좌회전 형태: ① (주기=120초)												
② 현시												③ 좌회전 형태 EB, WB: 동시신호
④ 신호 시간	G = 30 Y = 3	G = 20 Y = 3	G = 20 Y = 3	G = 38 Y = 3								NB, SB: 양방 보호

\* 우회전을 방해하는 교차도로의 횡단을 말함

[그림 6.5] 입력자료(운영분석표 1)

- ③ RTOR 보정계수: 공용우회전 차로에서 적색신호에 우회전하는 차량을 제외하기 위한 것이다. [표 6.5]를 이용해서 구한다. 이 접근로는 도류화되지 않은 공용우회전 차로를 가지므로 이 계수는 0.5이다.
- ④ 보정교통량,  $v(vph)$ : 분석기간이 15분이며 침투15분 교통량을 조사했으므로 PHF를 적용할 필요가 없다. 따라서 우회전만 보정하면 된다.  $v_R = 100 \times 0.5 = 50 vph$ .
- ⑤ 초기 대기차량대수,  $Q_b(\text{대})$ : 분석기간 이전에 다 처리되지 않은 차량이 남아 분석기간 동안 도착차량의 지체에 영향을 주는 차량대수(대)로, 이 예제에서는  $Q_b = 0$ 이라고 가정한다.
- ⑥ U턴 교통량(vph): 0
- ⑦ 진출입 교통량(vph),  $v_{dw}$ : 40 vph
- ⑧ 우회전을 방해하는 교차도로의 양방향 횡단보행자수(인/시): 600명/시간
- ⑨ 정지선으로부터 75 m 이내 버스정류장에서의 버스정차대수(vph),  $v_b$ : 11 vph
- ⑩ 주차 가능한 경우, 시간당 주차활동대수(vph),  $v_p$ : 10 vph
- ⑪ 상류부의 링크 길이(m): 400 m
- ⑫ 상류부 링크의 순행속도(kph): 50 kph(13.9 m/s)
- ⑬ 평균차로폭/경사/좌회전 곡선반경: 3.3 m/ 0%/13 m

#### (4) 신호에 관한 사항

- ① 주기: 120초
- ② 현시를 순서대로 스케치: 그림 참조
- ③ 좌회전 형태: 동서-동시신호, 남북-분리신호(양방보호)
- ④ 신호시간(초): 그림 참조
- ⑤ 상류부 교차로와의 오프셋(초): 운영분석표 3의 ⑧에 기록

## 2 직진환산계수 산정(운영분석표 2)

직진환산계수는 회전차로에서 교통류의 내부 및 외부마찰의 정도를 나타내는 것으로서, 이로 인해 증가된 차두시간을 직진 포화교통류의 차두시간과 비교한 것이다. 이를 이용하여 각 차로의 혼잡도를 예상하고 차로군을 분류한다.

따라서 좌회전은 내부마찰, 즉 좌회전 자체의 비효율, U턴의 영향을 종합하여 직진과 비교하여 직진환산계수를 구한다. 우회전은 내·외부마찰, 즉 우회전 자체의 비효율, 노변의 버스, 노상주차에 의한 영향을 종합하여 직진과 비교한 직진환산계수를 구한다.

- ① 차로수,  $N$ : 분석에서 사용되는  $N$ 값은 공용좌회전 차로가 있는 경우는 접근로 전체의 차로수, 전용좌회전 차로가 있는 경우는 접근로 전체 차로 중에서 전용좌회전 차로를 제외한 차로수를 사용한다. 따라서 이 값은 3이다.
- ② 좌회전 자체의 직진환산계수,  $E_l$ : [표 6.6]에서  $E_l = 1.0$ 이다.
- ③ 좌회전 곡선반경별 직진환산계수,  $E_{pa}$ : [표 6.7]에서  $E_{pa} = 1.09$ 이다.
- ④ 보호좌회전의 U턴 영향: [표 6.8]에서 U턴이 없으므로  $E_U = 1.0$ 이다.
- ⑤ 좌회전 차로의 직진환산계수:  $E_L = 1.0 \times 1.09 \times 1.0 = 1.09$ [식 (6.9)]이다.

- ⑥ 진출입차량의 영향,  $E_{dw}$ : 식 (6.10)에서  $E_{dw} = 0.16$ 이다.
- ⑦ 횡단보행자 영향,  $E_c$ : KHCM에서  $E_c = 1.0$ 이다.
- ⑧ 버스 영향,  $E_b$ : 버스베이가 없이 주행차로에 정차를 하며, 주변이 일반 업무지구이므로 KHCM에서  $E_b = 0.1$ 이다.
- ⑨ 노상주차의 영향,  $E_p$ : 노상주차가 허용되므로 KHCM에서  $E_p = 0.7$ 이다.
- ⑩ 우회전 차로의 직진환산계수:  $E_R = 1.16 + 0.16 + 1.0 + 0.1 + 0.7 = 3.12$  [식 (6.11)]이다.

### 3 차로군 분류(운영분석표 2)

모든 분석은 차로군별로 이루어진다. 차로군 분류는 근본적으로 운전자가 교차로 정지선에 접근하거나, 정지해서 대기하거나, 혹은 녹색신호에서 방출될 때 혼잡도에 관해서 평형을 이루려는 경향을 가지고 각 차로를 이용한다는 가정에서부터 출발한다. 이 혼잡도를 나타내기 위해서 회전차량의 직진환산계수를 사용한다.

이 예제에서는 직진현시에서 좌회전과 직진 및 우회전이 통합차로군을 형성한다.

### 4 포화교통량 계산(운영분석표 2)

차로군 분류가 끝나면 이후의 모든 과정은 차로군별로 분석된다. 각 차로군의 교통량을 이용하여 각 차로군 내에 포함된 회전교통량의 비율을 구한다. 이 비율과 회전교통의 직진환산계수로부터 좌·우회전의 보정계수, 정확히 말해 좌·우회전 차로군의 보정계수를 구한다. 이렇게 해서 얻은 보정계수와 접근로 전체에 일률적으로 적용되는 차로폭 보정계수, 경사 보정계수, 중차량 보정계수를 사용하여 각 차로군의 포화교통량을 얻는다. 용량도 마찬가지로 차로군별로 구한다.

- ① 차로군별 교통량,  $v_i$ : 차로군 교통량은 한 차로군으로 묶이는 이동류의 교통량을 합한 것이다.  
통합차로군 교통량  $v_T = 450 + 90 + 50 = 590$  vph
- ② 회전교통량비,  $P_L, P_R$ : 차로군의 총 교통량에서 회전교통량이 차지하는 비율이다.  
통합차로군의 좌회전교통량비  $P_L = 90/590 = 0.153$   
통합차로군의 우회전교통량비  $P_R = 50/590 = 0.085$
- ③ 회전 보정계수: 위의 회전교통량비와 직진환산계수 산정 모듈의 ⑤항 및 ⑩항에서 구한 직진 환산계수  $E_L, E_R$ 을 이용하여 보정계수를 구한다.

$$\text{통합차로군의 보정계수 } f_{LTR} = \frac{1}{1 + 0.153(1.09 - 1) + 0.085(3.12 - 1)} = 0.84$$

- ④ 차로폭 보정계수,  $f_w$ : 차로폭은 운영분석표 1의 ⑬항에 나타나 있으며, KHCM에 의하면 보정계수 값은 1.0이다.
- ⑤ 경사 보정계수,  $f_g$ : 경사는 운영분석표 1의 ⑬항에 나타나 있으며, KHCM에 의하면 보정계수 값은 1.0이다
- ⑥ 중차량 보정계수,  $f_{HV}$ : 모든 접근로에 동일하게 적용되는 값이다. 중차량 혼입률은 운영분석표 1의 그림 우측 ②항에 나와 있으며, 이에 대한 보정계수는 식 (6.21)로부터 구한다. 즉

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.05 \times 0.8} = 0.96$$

- ⑦ 차로군의 포화교통량,  $s_i$ : 식 (6.20)을 이용하여 구한다.

$$\text{통합차로군 } s_{LTR} = 2,200 \times 3 \times 0.84 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.96 = 5,322 \text{ vphg}$$

## 5 용량계산(운영분석표 2)

- ① 차로군의 교통량비,  $(v/s)_i = y_i$ : 차로군의 교통량을 포화교통량으로 나눈 값이다. 이 값은 포화도에 유효녹색시간비를 곱한 값과 같다. 그러나 계산 결과의 통일을 위해서 교통량을 포화교통량으로 나눈 값을 사용한다.

$$(v/s)_{LTR} = 590/5,322 = 0.111$$

- ② 현시의 임계차로군: 공용좌회전 차로를 가지므로 동시신호를 사용해야 하며, 통합차로군이 임계차로군이다.
- ③ 임계차로군의  $v/s$  합: 위에서 표시한 각 접근로의 임계차로군의  $y$ 값을 합한 것이다. 이 값은 교차로 전체의 임계 $v/c$ 를 구하거나 설계분석 및 계획분석에서 적정신호주기를 구하는 데 사용된다. 이 값은 교차로의 모든 접근로에 대한 신호현시의 임계차로군 및 그들 차로군의  $v/s$  비를 알아야만 구할 수 있다.
- ④ 차로군 유효녹색시간비,  $g/C$ : 차로군이 받는 녹색시간비이다. 유효녹색시간은 녹색신호시간에서 0.3초를 뺀 값을 사용한다.

$$g/C = (30 - 0.3)/120 = 0.248$$

- ⑤ 차로군 용량,  $c = s(g/C)$ : 차로군의 포화교통량에 유효녹색시간비를 곱한 것이다.

$$c_{LTR} = 5,322 \times 0.248 = 1,320 \text{ vph}$$

- ⑥ 차로군의 포화도,  $(v/c) = X$ : 차로군의 교통량을 용량으로 나눈 값이다. 어떤 차로군에 대한 이 값이 1.0보다 크면 사실상 이 차로군은 매우 혼잡하다는 것을 의미한다. 그러나 이러한 바람직하지 못한 교통성과에도 불구하고 교차로 전체의 서비스수준이나 다음에 설명하는 임계 $v/c$  비는 매우 좋게 나타나는 수가 있으므로 교차로 전체의 서비스수준이나 임계 $v/c$ 비를 절대적으로 신뢰해서는 안 된다.

$$X_{LTR} = 590/1,320 = 0.447$$

- ⑦ 손실시간, 임계 $v/c$ 비: 신호현시당 손실시간은 황색시간에 0.3초를 더한 값이다. 만약 이 교차로가 4현시로 운영된다면 각 현시당 3초의 황색시간을 가지므로, 주기당 손실시간  $L = 4(3 + 0.3) = 13.2$ 초이다.

임계 $v/c$ 비는 적정한 신호운영조건하에서 교차로 전체의 혼잡도를 나타내는 지표이다. 신호운영이 잘못되어 있으면 어느 이동류 또는 접근로의  $v/c$ 비가 1.0보다 큰데도 불구하고 이 임계 $v/c$ 비의 값은 1.0보다 작을 수 있다. 따라서 임계 $v/c$ 비가 교차로 전체의 서비스수준을 잘 나타낸다고 볼 수 없다. 이와 같은 경우는 신호운영조건을 개선하여 이 값을 현저히 줄일 수 있다. 이 값은 식 (3.10)으로부터 얻는다.

- ⑧ 적정주기: 설계분석에서만 필요한 항이므로 설계분석과정에서 설명된다.

직진환산계수 산정				
접근로	EB	WB	NB	SB
① 차로수, $N^*$	3			
② 좌회전 자체의 직진환산계수, $E_l$ [표 6.6]	1.0			
③ 좌회전 곡선반경 영향, $E_{pa}$ [표 6.7]	1.09			
④ U턴 영향, $E_U$ [표 6.8]	1.0			
⑤ 좌회전 차로의 직진환산계수, $E_L$ [식 (6.9)]	1.09			
⑥ 진출입차량의 영향, $E_{dw}$ [식 (6.10)]	0.16			
⑦ 횡단보행자 영향, $E_c$ (KHCM에서)	1.0			
⑧ 버스의 영향, $E_b$ (KHCM에서)	0.1			
⑨ 노상주차 영향, $E_p$ (KHCM에서)	0.7			
⑩ 우회전 차로의 직진환산계수, $E_R$ [식 (6.11)] $E_R = 1.16 + E_{dw} + E_c + E_b + E_p$	3.12			
* 전용좌회전 차로를 제외한 접근로 총 차로수				
차로군 분류				
① 전용회전 차로가 있는 경우				
② 공용회전 차로가 있는 경우	통합차로군			
포화교통량 계산				
① 차로군 교통량, $v_i$ (vph)	590			
② 회전교통량비 $P_L, P_R$	$\frac{v_L \text{ or } v_R}{v_T}$	0.153/0.085		
③ 회전보정계수 $f_L, f_R, f_{LTR}$	$\frac{1}{1 + P(E-1)}$	$f_{LTR} = 0.84$		
④ 차로폭 보정계수, $f_w$ (KHCM에서)	1.0			
⑤ 경사 보정계수, $f_g$ (KHCM에서)	1.0			
⑥ 중차량 보정계수, $f_{HV}$ [식 (6.21)]	0.96			
⑦ 포화교통량(vph) $s_i = 2200N_i \times f_L$ (또는 $f_R, f_{LTR}$ ) $\times f_w \times f_g \times f_{HV}$	5,322			
용량 계산				
① 차로군 교통량비, $(v/s)_i = y_i$	0.111			
② 현시의 임계차로군( $\sqrt{\phantom{x}}$ )	$\sqrt{\phantom{x}}$			
③ 임계차로군의 합, $v/s$				
④ 차로군 녹색시간비, $(g/C)$	0.248			
⑤ 차로군 용량, $c_i = s_i (g/C)_i$	1,320			
⑥ 차로군 포화도, $(v/c)_i = X_i$	0.447			
⑦ 손실시간, 임계 $v/c$ 비	$4(3 + 0.3) = 13.2\text{초}$			
⑧ 적정주기(설계분석 시)				

[그림 6.6] 차로군 분류 및 포화교통량, 용량계산(운영분석표 2)



## 6 지체계산 및 서비스수준 결정(운영분석표 3)

차로군별로 균일지체, 증분지체 및 추가지체를 계산하고 연동효과에 의한 지체를 보정하여 총 평균제어지체를 구한 다음 각 차로군의 서비스수준을 구한다. 한 접근로의 서비스수준 분석은 이 접근로에 포함된 각 차로군들의 평균제어지체를 그들의 교통량에 관하여 가중(加重)평균하여 얻은 접근로의 평균제어지체로부터 구한다. 또 교차로 전체의 서비스수준은 각 접근로의 평균제어지체를 그들의 교통량에 관하여 가중평균하여 교차로 전체의 평균제어지체를 계산한 후 [표 6.3]으로부터 얻는다.

이렇게 해서 얻은 교차로 전체의 평균지체 또는 서비스수준은 녹색시간 동안 교차로를 이용하는 모든 교통량에 관한 평균값인 반면, 앞 절에서 설명한 교차로 전체의 임계 $v/c$ 비는 각 현시의 임계 차로군에 관한 것이므로 교차로의 교통상황을 나타내는 방법에서 차이가 나는 것에 유념해야 한다. 임계 $v/c$ 비가 매우 큰데도 불구하고 평균지체의 값이 그다지 크지 않으면, 이 교차로의 임계차로군과 그렇지 않는 차로군 간의 혼잡도의 차이가 많다는 의미이다. 이런 경우는 각 차로군의 교통수요에 적절한 신호현시 및 신호시간으로 변경해 주면 임계 $v/c$ 비를 줄일 수 있다.

### (1) 차로군 분석

- ① 차로군 분류: 운영분석표 2에 나타난 것과 같다.
- ② 초기 대기차량대수,  $Q_b$ (대): 운영분석표 1에 나타난 것과 같이  $Q_b = 0$ 대이다.
- ③ 추가지체 유형 판단: 두 차로군 모두 추가지체 없다.
- ④ 균일지체,  $d_1$ : 도착교통이 완전히 일정한 시간간격으로 도착한다고 가정할 때의 지체이며, 초기 대기차량이 없으므로 식 (6.24)를 사용한다.

$$d_{LTR1} = \frac{0.5 \times 120(1 - 0.248)^2}{1 - 0.447 \times 0.248} = 38.2 \text{ 초/대}$$

- ⑤ 증분지체,  $d_2$ : 도착교통의 무작위성, 과포화성으로 인한 증분지체이다[식 (6.27)].

$$d_{LTR2} = 900 \times 0.25 \left[ (0.447 - 1) + \sqrt{(0.447 - 1)^2 + \frac{4 \times 0.447}{1,320 \times 0.25}} \right] = 1.1 \text{ 초/대}$$

- ⑥ 추가지체,  $d_3$ : 초기 대기차량에 의해서 분석기간 동안에 도착한 차량이 받는 지체이다. 초기 대기차량이 없으므로 0이다.
- ⑦ 순행시간,  $T_c$ : 이 접근로 상류부 링크의 순행시간으로서, 링크의 길이는 400 m이고 순행속도는 50 kph이므로(운영분석표 1 참조) 순행시간은  $400 \times 3.6/50 = 28.8$ 초이다.
- ⑧ 오프셋: 상류부의 직진과 이 접근로의 직·좌 공용차로군의 녹색신호가 켜지는 시간의 차이이며, 여기서는 10초라 가정했다.
- ⑨ 오프셋 편의율, TVO: 순행시간과 오프셋이 얼마나 잘 일치하는가를 나타내는 지표이다. 이 값이 - 값이나 1.0보다 큰 값을 갖는 경우는 정수 값을 더해 주거나 빼 주어서, 이 값이 0~1.0 사이의 값이 되도록 만들어준다. 본 예에서는 다음과 같다.

$$TVO = \frac{T_c - \text{offset}}{C} = \frac{28.8 - 10}{120} = 0.16$$

- ⑩ 연동계수, PF: 연동이동류가 직진이므로 직진현시에 같이 진행되는 모든 이동류에 적용한다. 사실상 비보호좌회전과 우회전은 대향직진 차량군 또는  $f_c G_p$  시간 때문에 연동을 방해받지

만, 이 방해시간이  $E_L$  및  $E_R$ 에 포함되어 반영되었으므로 같은 연동계수를 적용한다. 만약 비 보호좌회전 및 우회전이 직진신호 이외의 시간에 시작된다면 연동계수 1.0을 적용한다.

이 연동계수는 옹셋 편의율(偏倚率) TVO과 녹색시간비 ( $g/C$ )로부터 [표 6.9]를 이용해서 보간법으로 구한다.

$$PF = 0.64$$

- ⑪ 평균제어지체,  $d$ : 균일지체에 연동계수를 곱하고, 증분지체와 추가지체의 합이다. 식 (6.23)에 의해서  $d_{LTR} = 38.2 \times 0.64 + 1.1 = 25.5$  초/대이다.

- ⑫ 차로군 서비스수준: 위에서 구한 차로군의 평균제어지체 값으로부터 [표 6.3]을 이용하여 구한다.

$$LOS_{LTR} = B$$

지체계산 및 서비스수준 결정				
차로군 분석				
접근로	EB	WB	NB	SB
① 차로군 분류	통합차로군			
② 초기 대기차량대수, $Q_b$ (대)	0			
③ 추가지체 유형 판단	—			
④ 균일지체	38.2			
⑤ 증분지체	1.1			
⑥ 추가지체, $d_3$	0			
⑦ 순행시간 $T_c$ = 링크길이/순행속도(초)	28.8			
⑧ 옹셋(초)	10			
⑨ 옹셋 편의율 $TVO = (T_c - \text{offset})/C$	0.16			
⑩ 연동계수, $PF$ [표 6.9]	0.64			
⑪ 평균제어지체(초/대) $d_i = d_1(PF) + d_2 + d_3$	25.5			
⑫ 차로군 서비스수준[표 6.3]	B			
접근로 분석				
① 접근로 지체, $d_A = \frac{\sum(d_i v_i)}{\sum v_i}$	25.5			
② 접근로 서비스수준[표 6.3]	B			
교차로 분석				
① 접근로 교통량, $v_A = \sum v_i$ (vph)	590			
② 교차로 지체, $d_I = \frac{\sum(d_A v_A)}{\sum v_A}$				
③ 교차로 서비스수준[표 6.3]				

[그림 6.7] 지체계산 및 서비스수준 결정(운영분석표 3)

## (2) 접근로 분석

접근로가 통합차로군을 이루므로 접근로 전체의 평균지체는 바로 이 통합차로군의 평균지체와 같다.

## (3) 교차로 분석

① 접근로 교통량: 접근로 전체의 교통량 590 vph

② 교차로 지체: 각 접근로의 평균지체를 교통량에 관해서 가중평균한 값이다.

$$d_I = \frac{16.0 \times 590 + d_{WB} \times v_{WB} + d_{SB} \times v_{SB} + d_{NB} \times v_{NB}}{590 + v_{WB} + v_{SB} + v_{NB}}$$

③ 교차로 서비스수준: 위의  $d_I$ 값으로 [표 6.3]에서 서비스수준을 찾는다.

## 제 7 장

**예제 7.1** 어느 도로구간에서 10월 둘째주 목요일 하루의 전역조사 교통량이 37,000대였다. 이 도로 부근에 있으면서 교통량 패턴이 비슷하여 같은 그룹 내에 있다고 판단되는 상시조사지점에서 얻은 교통량의 월변동계수(AADT/월평균 일교통량)와 요일변동계수(월평균일 교통량/월평균 요일교통량)는 다음과 같다. 이 도로구간의 AADT를 구하라.

월변동계수(AADT/월평균 일교통량)												
월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
월변동계수	1.05	0.98	0.90	1.08	1.09	1.08	1.03	0.94	0.96	1.00	0.96	0.96

10월의 요일변동계수(월평균 일교통량/월평균 요일교통량)							
요일	월	화	수	목	금	토	일
요일변동계수	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.01	1.03

**풀이** 10월의 평균 일교통량 =  $37,000 \times 0.99 = 36,630$ 대/일  
 AADT =  $36,630 \times 1.00 = 36,630$ 대/일

**예제 7.2** 앞의 예제에서 이 도로구간의 AADT는 36,630이었다. 또 이 도로구간과 유사한 교통패턴을 갖는 어느 상시조사지점의 자료로부터  $K$ 값( $30 \text{ HV}/\text{AADT}$ )이 14%이고 PHF가 0.95임을 알았다. 조사지점에서의 중방향 교통량비율( $D$ 계수)과 대형차 구성비( $T$ 계수)가 각각 60%와 15%로 관측되었을 때 (1) 이 도로구간의 첨두시간 설계교통량을 구하라. (2) 대형차의 승용차환산계수(pce)가 1.8이라 가정할 때 이 첨두시간 설계교통량을 승용차 단위로 나타내라.

**풀이** (1) 식 (7.1)에서  $\text{PDDHV} = 36,630 \times 0.14 \times 0.6 / 0.95 = 3,239 \text{ vph}$   
 (2)  $f_{HV} = 1 / [1 + 0.15(1.8 - 1)] = 0.893$   
 $\text{PDDHV} = 3,239 / 0.893 = 3,627 \text{ pcph}$   
 또는  $3,239 \times 0.15 \times 1.8 + 3,239 \times 0.85 = 3,627 \text{ pcph}$

**예제 7.3** 이 도로의 설계 서비스수준이 D이고, 이때의 서비스교통량이 1,340 vph이라면 몇 차로의 도로를 건설해야 하는가?

**풀이**  $N = 3,239 / 1,340 = 2.4 \rightarrow 3$ 차로(한 방향)  
따라서 양방향 6차로가 필요하다. ■

## 제 8 장

**예제 8.1** 주택가에 통제가 되지 않는 4갈래 교차로가 있다. A도로에서의 접근속도가 50 kph이고 교차도로인 B도로에서의 접근속도는 40 kph일 때, 시거삼각형을 설계하라. 단 교차로에서의 임계감속도는  $5.5 \text{ m/s}^2$ , 반응시간은 2초이다.

**풀이** 앞의 식 (2.4)를 이용하여 정지거리를 구하고 여기에 4.5 m를 더한다.

$$d_a = \frac{v^2}{2a} + t_r \cdot v + 4.5 = \frac{(50/3.6)^2}{2 \times 5.5} + 2(50/3.6) + 4.5 = 50 \text{ m}$$

$$d_b = \frac{(40/3.6)^2}{2 \times 5.5} + 2(40/3.6) + 4.5 = 38 \text{ m}$$

따라서 교차로 중앙을 중심으로 A도로상 50 m, B도로상 38 m를 삼각형으로 연결하면 시거삼각형을 이루며, 이 사이에는 시계 장애물이 없어야 한다. ■

## 제 13 장

**예제 13.1** [그림 13.1]과 같은 비통제 교차로에서 주도로의 제한속도는 60 kph이며  $a = 15 \text{ m}$ ,  $b = 18 \text{ m}$ 이다. 이때 교차도로의 제한속도는 얼마로 하면 좋은가?

**풀이**  $D_a = 0.007(60)^2 + 0.55(60) + 4.5 = 62.7 \text{ m}$

$$D_b = \frac{aD_a}{D_a - b} = \frac{15 \times 62.7}{62.7 - 18} = 21.0 \text{ m}$$

$$V_b = -40 + 12\sqrt{D_b + 6.5} = -40 + 12\sqrt{21.0 + 6.5} = 22.9 \text{ kph} \rightarrow 20 \text{ kph}$$
 ■

## 제 15 장

**예제 15.1** 어느 도시의 교외지역에 있는 어떤 존의 장차 예상 가구수는 60세대이며 가구당 월평균 소득은 190만 원이다. [그림 15.6]~[그림 15.9]에 나타난 특성을 장차 계획연도의 이 존에 적용할 수 있다고 가정한다면, 이 존에서의 각 통행목적별 통행생성량(trip production)을 구하라.

- 풀이** (1) 소득 수준별 가구의 구성비를 구한다. 존 평균가구당 소득이 월 190만 원일 때 각 소득계층별 가구의 분포를 [그림 15.6]에서 구하면 다음과 같다.

소득 수준별 가구수

소득 수준	가구구성비(%)	가구수
저소득층(월 140만 원 미만)	9	5
중소득층(월 140~240만 원)	40	24
고소득층(월 240만 원 초과)	51	31

- (2) 각 소득 수준 카테고리의 가구당 자동차 보유대수에 따른 가구의 구성비를 [그림 15.7]을 이용해서 구하면 다음과 같다.

소득 수준별·가구당 자동차 보유대수별 가구구성비(%)

소득 수준	가구당 자동차 보유대수		
	0	1	2 <sup>+</sup>
저소득	54	42	4
중소득	4	58	38
고소득	2	30	68

예를 들어 이 존에 있는 60가구 중에서 고소득층이 31세대이며, 이 가운데 자동차 보유대수가 2대 이상인 가구는  $31 \times 0.68 = 21$ 세대이다. 이 표와 앞 표를 이용하여 소득 수준별·가구당 자동차 보유대수별 가구수를 나타내면 다음과 같다.

소득 수준별·가구당 자동차 보유대수별 가구수

소득 수준	가구당 자동차 보유대수			계
	0	1	2 <sup>+</sup>	
저소득	3	2	0	5
중소득	1	14	9	24
고소득	1	9	21	31

- (3) 각 소득 수준 및 자동차 보유대수 카테고리에 해당되는 가구들의 가구당 통행생성량을 [그림 15.8]을 이용해서 구하면 다음과 같다.

소득 수준별·가구당 통행생성량

소득 수준	가구당 자동차 보유대수		
	0	1	2 <sup>+</sup>
저소득	1	6	7
중소득	2	8	13
고소득	3	11	15

- (4) 앞의 두 표의 각 셀에 대응하는 값을 곱하여 각 소득 수준별 통행생성량을 구할 수 있다. 즉,  
 저소득층:  $(3 \times 1) + (2 \times 6) + (0 \times 7) = 15$  통행  
 중소득층:  $(1 \times 2) + (14 \times 8) + (9 \times 13) = 231$  통행  
 고소득층:  $(1 \times 3) + (9 \times 11) + (21 \times 15) = 417$  통행  
 계 663 통행

(5) 각 소득 수준별로 통행목적별 통행의 구성비를 [그림 15.9]를 이용해서 구하면 다음과 같다.

소득 수준별·통행목적별 통행구성비(%)

소득 수준	통행목적		
	출근·등교통행유출	기타 통행유출	귀가(통행유입)
저소득	30	15	55
중소득	32	17	51
고소득	34	18	48

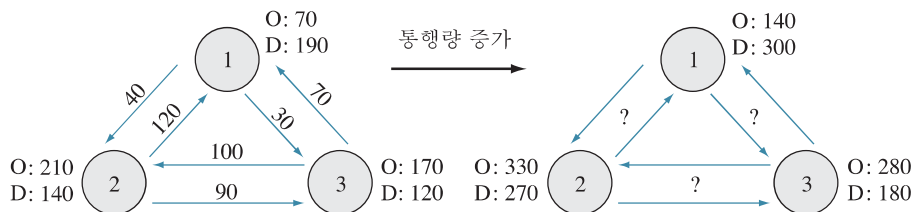
(6) 각 소득 수준별 통행생성량에 위의 표에서 얻은 구성비를 곱하여 각 소득 수준별 통행목적별 통행 생성량을 구한다.

소득 수준별·통행목적별 통행생성량

소득 수준	통행목적			계
	출근·등교통행유출	기타 통행유출	귀가(통행유입)	
저소득	5	2	8	15
중소득	74	39	118	231
고소득	142	75	200	417
계	221	116	326	663



**예제 15.2** 1, 2, 3존에서 출근목적통행에 대한 통행유출 및 통행유입, 그리고 존 간의 통행량이 아래 왼쪽 그림에서 보는 바와 같이 조사되었다. 또 장래 통행발생 예측결과는 아래 오른쪽 그림과 같다. 이때 Fratar법을 사용하여 각 존 간의 장래 교차교통량을 구하라.



**풀이** (1) 각 존의 유출·입통행량의 성장계수를 구한다.

$$\text{유출: } F_{1j} = 140/70 = 2.0 \quad F_{2j} = 330/210 = 1.57 \quad F_{3j} = 280/170 = 1.65$$

$$\text{유입: } F_{j1} = 300/190 = 1.58 \quad F_{j2} = 270/140 = 1.93 \quad F_{j3} = 180/120 = 1.50$$

(2) 통행량의 1차 분포:

$T_{12}$

$$L_1 = \frac{70}{40 \times 1.93 + 30 \times 1.5} = 0.573$$

$$L_2 = \frac{140}{40 \times 2.0 + 100 \times 1.65} = 0.571$$

$$T_{12} = 40 \times 2.0 \times 1.93(0.573 + 0.571)/2 = 88$$

$T_{13}$

$$L_1 = 0.573$$

$$L_3 = \frac{120}{30 \times 2.0 + 90 \times 1.57} = 0.596$$

$$T_{13} = 30 \times 2 \times 1.5(0.573 + 0.596)/2 = 53$$

$T_{21}$

$$L_2 = \frac{210}{120 \times 1.58 + 90 \times 1.5} = 0.647$$

$$L_1 = \frac{190}{120 \times 1.57 + 70 \times 1.65} = 0.625$$

$$T_{21} = 120 \times 1.57 \times 1.58 (0.647 + 0.625) / 2 = 189$$

$T_{23}$

$$L_2 = 0.647$$

$$L_3 = 0.596$$

$$T_{23} = 90 \times 1.57 \times 1.5 (0.647 + 0.596) / 2 = 132$$

$T_{31}$

$$L_3 = \frac{170}{70 \times 1.58 + 100 \times 1.93} = 0.56$$

$$L_1 = 0.625$$

$$T_{31} = 70 \times 1.65 \times 1.58 (0.56 + 0.625) / 2 = 108$$

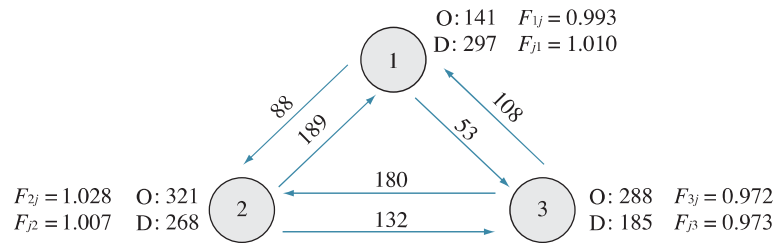
$T_{32}$

$$L_3 = 0.56$$

$$L_2 = 0.571$$

$$T_{32} = 100 \times 1.65 \times 1.93 (0.56 + 0.571) / 2 = 180$$

이를 종합하여 새로운 성장계수를 구한다.



(3) 통행량의 2차 분포:

$T_{12}$

$$L_1 = \frac{141}{88 \times 1.007 + 53 \times 0.973} = 1.006$$

$$L_2 = \frac{268}{88 \times 0.993 + 180 \times 0.972} = 1.022$$

$$T_{12} = 88 \times 0.993 \times 1.007 (1.006 + 1.022) / 2 = 89$$

$T_{13}$

$$L_1 = 1.006$$

$$L_3 = \frac{185}{53 \times 0.993 + 132 \times 1.028} = 0.982$$

$$T_{13} = 53 \times 0.993 \times 0.973 (1.006 + 0.982) / 2 = 51$$

$T_{21}$

$$L_2 = \frac{321}{189 \times 1.01 + 132 \times 0.973} = 1.005$$

$$L_1 = \frac{297}{189 \times 1.028 + 108 \times 0.972} = 0.992$$

$$T_{21} = 189 \times 1.028 \times 1.01 (1.005 + 0.992) / 2 = 196$$

$T_{23}$

$$L_2 = 1.005$$

$$L_3 = 0.982$$

$$T_{23} = 132 \times 1.028 \times 0.973 (1.005 + 0.982) / 2 = 131$$

$T_{31}$

$$L_3 = \frac{288}{108 \times 1.01 + 180 \times 1.007} = 0.992$$

$$L_1 = 0.992$$

$$T_{31} = 108 \times 0.972 \times 1.01 (0.992 + 0.992) / 2 = 105$$

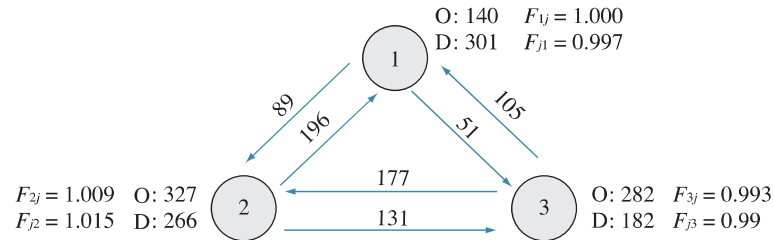
$$\underline{T_{32}}$$

$$L_3 = 0.992$$

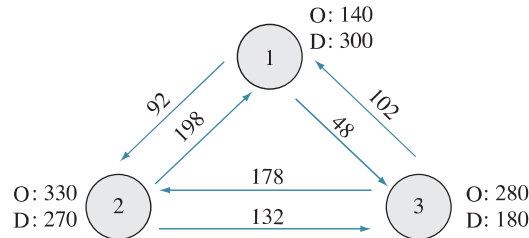
$$L_2 = 1.022$$

$$T_{32} = 180 \times 0.972 \times 1.007(0.992 + 1.022)/2 = 177$$

이를 종합하고 새로운 성장계수를 구한다.



(4) 이와 같은 과정을 반복하여 얻은 최종적인 결과는 다음과 같다.



**예제 15.3** 3개 존으로 구성된 조사지역에서 출근목적통행에 대한 장래 각 존의 통행유출과 통행유입량, 그리고 존 간의 통행시간을 예측한 결과는 다음 표와 같다. 모든 존 간의  $K_{ij}$  값은 1이라 가정을 하고 통행시간에 따른  $F$  값은 마찬가지로 표에 나타나 있다. 1존의 내부통행시간이 존 간의 통행시간보다 큰 것은 그 존의 지형적 특성으로 지역 내의 접근성이 좋지 않거나 또는 도심지로서 혼잡한 상태를 나타낸다고도 볼 수 있다. 존 간의 교차통행을 분포시켜라.

조사지역 각 존의 통행유출 및 유입량(출근목적)

존	1	2	3	계
통행유출	140	330	280	750
통행유입	300	270	180	750

존 간의 통행시간(분)

존	1	2	3
1	5	2	3
2	2	6	6
3	3	6	5

통행시간과  $F$  계수(calibration 결과)

통행시간(분)	1	2	3	4	5	6	7	8
$F$	82	52	50	41	39	26	20	13



**풀이** (1) 중력모형을 사용하여 각 존 간의 통행량을 계산한다.

$$\text{기본공식: } T_{ij} = O_i \left( \frac{D_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n D_j F_{ij} K_{ij}} \right) \text{ 여기서 모든 존 간의 } K_{ij} = 1$$

$$T_{1-1} = 140 \times \frac{300 \times 39}{300 \times 39 + 270 \times 52 + 180 \times 50} = 47$$

$$T_{1-2} = 140 \times \frac{270 \times 52}{300 \times 39 + 270 \times 52 + 180 \times 50} = 57$$

$$T_{1-3} = 140 \times \frac{180 \times 50}{300 \times 39 + 270 \times 52 + 180 \times 50} = 36$$

$$\text{계 } O_1 = 140$$

(2) 같은 방법으로 2, 3존에 대해서 계산하면

$$T_{2-1} = 188 \quad T_{2-2} = 85 \quad T_{2-3} = 57 \quad \text{계 } O_2 = 330$$

$$T_{3-1} = 144 \quad T_{3-2} = 68 \quad T_{3-3} = 68 \quad \text{계 } O_3 = 280$$

(3) 이를 통행유출, 통행유입 매트릭스로 나타낸다.

1차 통행분포 매트릭스

존	1	2	3	$O_i$
1	47	57	36	140
2	188	85	57	330
3	144	68	68	280
계( $C_{j(1)}$ )	379	210	161	750
실제값( $D_j$ )	300	270	180	750

따라서 계산된 각 존의 통행유입값이 주어진 실제값과 많은 차이가 난다.

(4) 아래 공식을 사용하여 각 존별 보정유입량을 계산한다.

$$D_{j(k)} = D_j \times \frac{D_{j(k-1)}}{C_{j(k-1)}}$$

여기서  $D_{j(k)}$ :  $k$ 번 반복했을 때 유입존  $j$ 의 보정유입총량(단,  $k=2$ 일 때  $D_{j(1)} = D_j$ 이다.)

$C_{j(k)}$ :  $k$ 번 반복했을 때 유입존  $j$ 의 합산유입총량

$D_j$ : 유입존  $j$ 의 주어진 실제유입총량

$k$ : 실제유입총량과 합산유입총량을 일치시키기 위한 보정의 반복횟수

그러므로

$$\text{존 1: } D_{1(2)} = 300 \times \frac{300}{379} = 237$$

$$\text{존 2: } D_{2(2)} = 270 \times \frac{270}{210} = 347$$

$$\text{존 3: } D_{3(2)} = 180 \times \frac{180}{161} = 201$$

(5) 2차 보정유입량을 사용하여 2차 통행분포를 구한다.

$$T_{1-1} = 140 \times \frac{237 \times 39}{237 \times 39 + 347 \times 52 + 201 \times 50} = 34$$

$$T_{1-2} = 140 \times \frac{347 \times 52}{237 \times 39 + 347 \times 52 + 201 \times 50} = 68$$

$$T_{1-3} = 140 \times \frac{201 \times 50}{237 \times 39 + 347 \times 52 + 201 \times 50} = 37$$

$$\text{계 } O_1 = 140$$

$$T_{2-1} = 330 \times \frac{237 \times 52}{237 \times 52 + 347 \times 26 + 201 \times 26} = 153$$

$$T_{2-2} = 330 \times \frac{347 \times 26}{237 \times 52 + 347 \times 26 + 201 \times 26} = 112$$

$$T_{2-3} = 330 \times \frac{201 \times 26}{237 \times 52 + 347 \times 26 + 201 \times 26} = 65$$

$$\text{계 } O_2 = 330$$

$$T_{3-1} = 280 \times \frac{237 \times 50}{237 \times 50 + 347 \times 26 + 201 \times 39} = 116$$

$$T_{3-2} = 280 \times \frac{347 \times 26}{237 \times 50 + 347 \times 26 + 201 \times 39} = 88$$

$$T_{3-3} = 280 \times \frac{201 \times 39}{237 \times 50 + 347 \times 26 + 201 \times 39} = 76$$

$$\text{계 } O_3 = 280$$

(6) 이를 통행유출, 통행유입 매트릭스로 나타낸다.

2차 통행분포 매트릭스

존	1	2	3	$O_i$
1	34	68	38	140
2	153	112	65	330
3	116	88	76	280
계( $C_{j(2)}$ )	303	268	179	750
실제값( $D_j$ )	300	270	180	750

아직도  $C_{j(2)}$ 와  $D_j$  간에는 조금 차이가 있다.

(7) 각 존별 제3차 보정유입총량을 계산한다.

$$\text{존 1: } D_{1(3)} = 300 \times \frac{237}{303} = 235$$

$$\text{존 2: } D_{2(3)} = 270 \times \frac{347}{268} = 350$$

$$\text{존 3: } D_{3(3)} = 180 \times \frac{201}{179} = 202$$

(8) 이를 이용하여 3차 통행분포량을 계산한다.

$$T_{1-1} = 140 \times \frac{235 \times 39}{235 \times 39 + 350 \times 52 + 202 \times 50} = 34$$

$$T_{1-2} = 140 \times \frac{350 \times 52}{235 \times 39 + 350 \times 52 + 202 \times 50} = 68$$

$$T_{1-3} = 140 \times \frac{202 \times 50}{235 \times 39 + 350 \times 52 + 202 \times 50} = 38$$

$$\text{계 } O_1 = 140$$

같은 방법으로 존 2, 3에 대해서 계산하면,

$$T_{2-1} = 152 \quad T_{2-2} = 113 \quad T_{2-3} = 65 \quad \text{계 } O_2 = 330$$

$$T_{3-1} = 114 \quad T_{3-2} = 89 \quad T_{3-3} = 77 \quad \text{계 } O_3 = 280$$

(9) 이를 통행유출 및 통행유입 매트릭스로 나타낸다.

3차 통행분포 매트릭스

존	1	2	3	$O_i$
1	34	68	38	140
2	152	113	65	330
3	114	89	77	280
$C_{j(3)}$	300	270	181	750
$D_j$	300	270	180	750

**예제 15.4** 교외지역의 존 1과 CBD 지역의 존 2 간의 통행에서 수단분담을 구하려고 한다. 출근목적통행 때의 관측된 자료는 다음과 같으며 이 목적통행의  $b$ 계수는 2.0이다. 1존에서 거주하는 사람(출근자)의 연평균소득은 800만 원이다.

존 1, 2 사이의 통행자료

구분	승용차( $a$ )	버스( $t$ )
거리	10 km	8 km
km당 운행비용	100원	30원
추가시간	5분	8분
주차비용	한 통행당 500원	—
운행속도	50 kph	40 kph

**풀이**  $I_{12a} = \left( \frac{10}{50} \times 60 \right) + (2.5 \times 5) + \left( \frac{3 \times (500 + 100 \times 10)}{800\text{만}/12\text{만}} \right) = 12 + 12.5 + 67.5 = 92.0$  등가분

$$I_{12t} = \left( \frac{8}{40} \times 60 \right) + (2.5 \times 8) + \left( \frac{3 \times 30 \times 8}{800\text{만}/12\text{만}} \right) = 12 + 20 + 10.8 = 42.8$$
 등가분

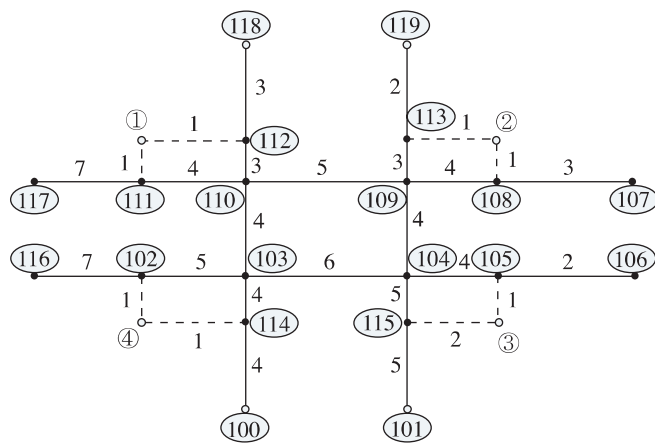
$$MS_a = \frac{(42.8)^2}{(92)^2 + (42.8)^2} \times 100 = 17.8\%$$

$$MS_t = 100 - 17.8 = 82.2\%$$

**예제 15.5** 다음 표에 나타난 O-D 교통량을 4개의 존으로 이루어진 그림과 같은 도로망에 배분하라. 그림의 링크상에 표시된 숫자는 그 링크의 통행시간을 분으로 나타낸 것이다.

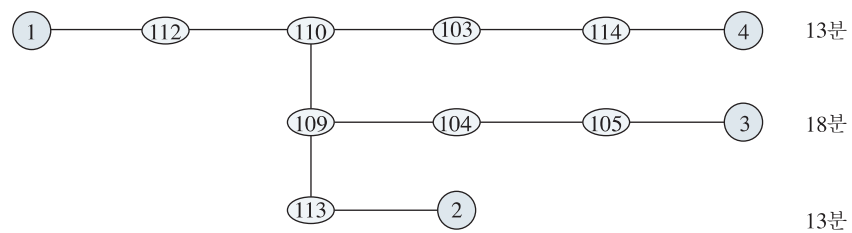
분포 O-D 교통량(대/일)

O \ D	1	2	3	4
1	—	1,000	5,000	3,000
2	4,000	—	3,000	4,000
3	5,000	6,000	—	1,000
4	2,000	1,000	3,000	—

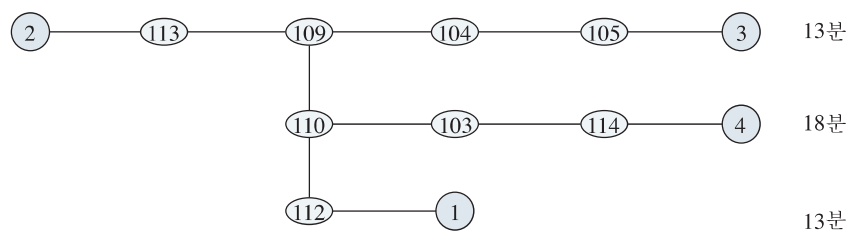


**풀이** (1) 발취수형도 작성

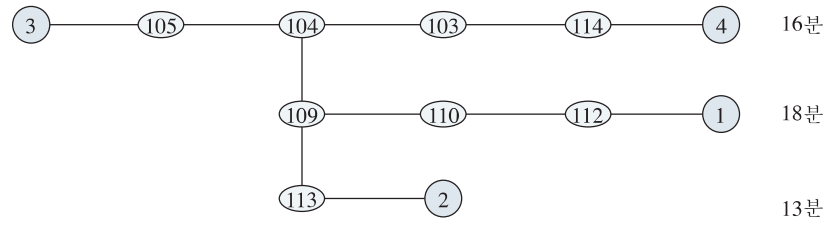
출발지존 ①



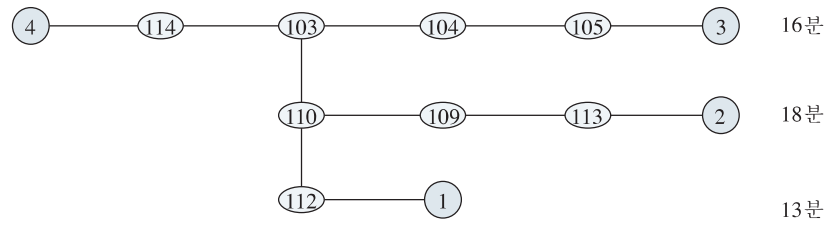
출발지존 ②



출발지준 ③



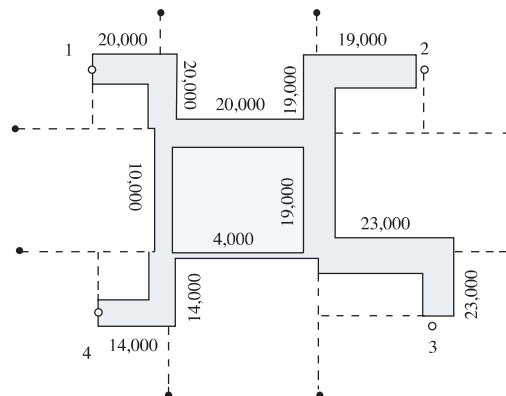
출발지준 ④



(2) 분포교통량 배분

링크 O-D	1~ 112	112~ 110	110~ 109	109~ 113	113~ 2	109~ 104	104~ 105	105~ 3	110~ 103	103~ 114	114~ 4	103~ 104
1~2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000							
1~3	5,000	5,000	5,000			5,000	5,000	5,000				
1~4	3,000	3,000							3,000	3,000	3,000	
2~1	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000							
2~3				3,000	3,000	3,000	3,000	3,000				
2~4			4,000	4,000	4,000				4,000	4,000	4,000	
3~1	5,000	5,000	5,000			5,000	5,000	5,000				
3~2				6,000	6,000	6,000	6,000	6,000				
3~4							1,000	1,000		1,000	1,000	1,000
4~1	2,000	2,000							2,000	2,000	2,000	
4~2			1,000	1,000	1,000				1,000	1,000	1,000	
4~3							3,000	3,000		3,000	3,000	3,000
계	20,000	20,000	20,000	19,000	19,000	19,000	23,000	23,000	10,000	14,000	14,000	4,000

(3) 도로망배분 링크교통량



## 제 16 장

**예제 16.1**  $T=240,000$ 대/일,  $T_1=40,000$ 대/일,  $T_2=200,000$ 대/일,  $\alpha=0.66$ (9:00~19:00까지 10시간 교통량의 AADT에 대한 비율),  $L=10$  km,  $v_p=13.3$  kph(고속도로가 건설되기 전 기존도로에서 첨두시간의 통행속도),  $v_2=18$  kph(고속도로 건설 후 기존도로에서 첨두시간의 통행속도),  $C_p=21.62$ 원/km,  $C_2=19.13$ 원/km일 때 고속도로 건설에 의한 기존도로에서의 운행비용 절감액을 구하라.

**풀이** 기존도로(교통량  $T_2$ )의 운행비용 절감액

$$\Delta C = 200,000(\text{대/일}) \times 0.66 \times 10(21.62 - 19.13) = 3,236,800 \text{ 원}$$

$$\therefore \text{연간 총 절감액} = 3,236,800 \times 365 = 12 \text{ 억 원}$$

**예제 16.2** 예제 16.1에서  $R=4.33$ 원/분일 때 연간 절약시간편익을 구하라.

**풀이**  $\Delta T = 200,000 \times 0.66 \times 10 \left( \frac{1}{13.3} - \frac{1}{18.0} \right) \times 4.33 \times 60 \times 365 = 24.6 \text{ 억 원}$

**예제 16.3** 다음과 같은 7개의 대안(do-nothing 대안 포함) 중에서 NPW 방법을 사용하여 가장 경제적인 대안을 찾아내라(경제수명은 모두 20년, MARR은 8%, 잔존가치는 없다고 가정).

대안	초기건설비용	유지관리비용 (연간균등)	도로사용자비용 (연간균등)	도로사용자편익 <sup>1)</sup> (연간균등)	NPW <sup>2)</sup> (해답)
A	—	60	500	—	—
B	800	70	280	220	1,262
C	1,000	55	250	250	1,503
D	1,300	52	225	275	1,478
E	1,350	48	220	280	1,517 ※
F	1,500	46	210	290	1,485
G	1,650	46	195	305	1,482

1) 도로사용자편익은 do-nothing 대안 A의 도로사용자비용과의 차이이다. 즉 B 도로의 사용자비용이 280이므로 기존도로에 비해 사용자비용이 220 절감되는 편익을 얻는다.

2) 대안 A와 비교한 것이다.

**풀이** • 이자율  $i=8\%$

• 균등액 현재가계수  $(P/A)_{20}=9.818$

$$NPW_B = -800 - (70 - 60)(P/A)_{20} + 220(P/A)_{20} = 1,262$$

$$NPW_C = -1,000 - (55 - 60)(P/A)_{20} + 250(P/A)_{20} = 1,503$$

$$NPW_D = -1,300 - (52 - 60)(P/A)_{20} + 275(P/A)_{20} = 1,478$$

$$NPW_E = -1,350 - (48 - 60)(P/A)_{20} + 280(P/A)_{20} = 1,517$$

$$NPW_F = -1,500 - (46 - 60)(P/A)_{20} + 290(P/A)_{20} = 1,485$$

$$NPW_G = -1,650 - (46 - 60)(P/A)_{20} + 305(P/A)_{20} = 1,482$$

따라서 대안 E가 가장 경제적인 대안이다.

**예제 16.4** 앞의 예제에서 EUAW 방법을 사용하여 가장 경제적인 대안을 찾아내라.

대안	초기건설비용	유지관리비용 (연간균등)	도로사용자비용 (연간균등)	도로사용자편익 (연간균등)	NPW <sup>1)</sup> (해답)
A	—	60	500	—	—
B	800	70	280	220	128.5
C	1,000	55	250	250	153.2
D	1,300	52	225	275	150.6
E	1,350	48	220	280	154.5 ※
F	1,500	46	210	290	151.2
G	1,650	46	195	305	150.9

1) 대안 A(do-nothing)와 비교한 것이다.

**풀이**

- 이자율  $i = 80\%$
- 자본상환계수  $(A/P)_{20} = 0.10185$

$$EUAW_B = NPW_B \times 0.10185 = 128.5$$

$$EUAW_C = 1,503 \times 0.10185 = 153.2$$

$$EUAW_D = 1,478 \times 0.10185 = 150.6$$

$$EUAW_E = 1,517 \times 0.10185 = 154.5$$

$$EUAW_F = 1,485 \times 0.10185 = 151.2$$

$$EUAW_G = 1,482 \times 0.10185 = 150.9$$

따라서 대안 E가 가장 경제적인 대안이다.

**예제 16.5** 앞의 예제에서 B/C비 방법을 사용하여 가장 경제적인 대안을 찾아내라.

대안 ①	초기비용	유지관리 <sup>1)</sup> 편익(연간)	사용자 <sup>1)</sup> 편익(연간)	B/C비 ②	증분비교 ③	증분 B/C비 ④	결론 ⑤
A	0	—	—	—	—	—	
B	800	-10	220	2.6	B-A	2.6	A보다 B가 우수
C	1,000	5	250	2.5	C-B	2.2	B보다 C가 우수
D	1,300	8	275	2.1	D-C	0.9	D보다 C가 우수
E	1,350	12	280	2.1	E-C	1.04	C보다 E가 우수
F	1,500	14	290	2.0	F-E	0.8	F보다 E가 우수
G	1,650	14	305	1.9	G-E	0.9	G보다 E가 우수
							∴ E가 가장 우수

1) do-nothing 대안(A)과 비교한 것으로서 A의 비용보다 감소한 것을 편익으로 본다.

**풀이**

- ①: 각 대안을 초기투자비용의 순서대로 나열한다.
- ②: 각 대안의 A 대안에 대한 B/C비를 구한다.

$$\text{균등액 현재가계수 } (P/A)_{20} = 9.818$$

$$(B/C)_B = (-10 + 220)(9.818)/800 = 2.6$$

$$(B/C)_C = (5 + 250)(9.818)/1,000 = 2.5$$

$$(B/C)_D = (8 + 275)(9.818)/1,300 = 2.1$$

$$(B/C)_E = (12 + 280)(9.818)/1,350 = 2.1$$

$$(B/C)_F = (14 + 290)(9.818)/1,500 = 2.0$$

$$(B/C)_G = (14 + 305)(9.818)/1,650 = 1.9$$

여기서 구한 B/C비가 1.0보다 크다는 것은 A 대안에 비해 경제성이 있다는 의미를 나타낸다. 이 값이 1.0보다 작으면 그 대안은 이 단계에서 완전히 폐기된다. 그러나 여기서 구한 B/C값이 가장 크다고 해서(대안 B) 반드시 가장 경제적인 대안은 아니라는 것에 유의해야 한다. 가장 경제적인 대안을 찾기 위해서는 다음 단계에서 설명되는 각 대안 간의 증분비교를 해야 한다.

③, ④, ⑤: 도전대안의 편익과 비용에서 방어대안의 편익과 비용을 뺀 증분편익을 증분비용으로 나누어 증분 B/C비를 구한다. 만약 이 값이 1.0보다 크면 방어대안보다 도전대안이 좋다는 뜻이므로 방어대안은 폐기된다. 만약 1.0보다 작으면 방어대안이 더 좋다는 뜻이므로 도전대안이 폐기되고, 그 다음 대안이 도전대안이 되어 비교된다. 이렇게 해서 끝까지 남아 있는 대안이 최적대안이다.

$(B/C)_{B-A}$  = 앞의 ②에서 2.6

그러므로 대안 A는 폐기되고, 대안 B와 C를 비교

$$(B/C)_{C-B} = (255 - 210) (9.818) / (1,000 - 800) = 2.2$$

따라서 대안 B는 폐기되고, 대안 C와 D를 비교

$$(B/C)_{D-C} = (283 - 255) (9.818) / (1,300 - 1,000) = 0.9$$

따라서 대안 D는 폐기되고, 대안 C와 E를 비교

$$(B/C)_{E-C} = (292 - 255) (9.818) / (1,350 - 1,000) = 1.04$$

따라서 대안 C는 폐기되고, 대안 E와 F를 비교

$$(B/C)_{F-E} = (304 - 292) (9.818) / (1,500 - 1,350) = 0.8$$

따라서 대안 F는 폐기되고, 대안 E와 G를 비교

$$(B/C)_{G-E} = (319 - 292) (9.818) / (1,650 - 1,350) = 0.9$$

따라서 대안 G는 폐기되고, 대안 E가 가장 좋은 대안이며, 이 대안의 B/C비는 2.1이다.

※ 여기서 거듭 유의해야 할 것은 ②에서 구한 값이 크다고 해서 최적이 아니라는 사실이다. 이 값은 단지 그 대안의 경제적 타당성만을 나타내므로 1.0보다 크면 경제성이 있고 1.0보다 작으면 경제성이 없다.

④에서 구한 값이 크다고 해서 역시 가장 좋은 대안은 아니다. 이 값은 경제적인 타당성이 있는 대안 중에서 한 대안이 다른 대안에 비해 좋으나 나쁜냐를 판별하는 수치이기 때문이다. ■

#### 예제 16.6 앞의 예제에서 ROR 방법을 사용하여 가장 경제적인 대안을 찾아내라.

대안 ①	초기비용	유지관리 <sup>1)</sup> 편익(연간)	사용자 <sup>1)</sup> 편익(연간)	ROR ②	증분비교 ③	증분 ROR ④	결론 ⑤
A	0	—	—	—	—	—	
B	800	-10	220	26.1	B-A	26.1	A보다 B가 우수
C	1,000	5	250	25.1	C-B	22.3	B보다 C가 우수
D	1,300	8	275	21.5	D-C	6.9	D보다 C가 우수
E	1,350	12	280	21.3	E-C	8.5	C보다 E가 우수
F	1,500	14	290	19.8	F-E	5.0	F보다 E가 우수
G	1,650	14	305	18.9	G-E	6.4	G보다 E가 우수 ∴ E가 가장 우수

1) do-nothing 대안(A)과 비교한 것으로서 A의 비용보다 감소한 것을 편익으로 본다.



풀이

①: 각 대안을 초기투자비용의 순서대로 나열한다.

②: 각 대안의 A 대안에 대한 ROR을 구한다.

$$(ROR)_B = -800 + 210(P/A)^i = 0 \quad i = 26.1\%$$

$$(ROR)_C = -1,000 + 255(P/A)^i = 0 \quad i = 25.1\%$$

$$(ROR)_D = -1,300 + 283(P/A)^i = 0 \quad i = 21.5\%$$

$$(ROR)_E = -1,350 + 292(P/A)^i = 0 \quad i = 21.3\%$$

$$(ROR)_F = -1,500 + 304(P/A)^i = 0 \quad i = 19.8\%$$

$$(ROR)_G = -1,650 + 319(P/A)^i = 0 \quad i = 18.9\%$$

여기서 구한 ROR값이 8%의 MARR보다 크다는 것은 A 대안에 비해 경제성이 있다는 뜻이다. 이 값이 8%보다 작으면 그 대안은 이 과정에서 완전히 폐기된다. 그러나 여기서 구한 ROR값이 가장 크다고 해서(대안 B) 반드시 가장 좋은 대안은 아니라는 것에 유의해야 한다. 가장 좋은 대안을 찾기 위해서는 다음 단계에서 설명하는 바와 같이 각 대안 간의 증분비교를 해야 한다.

③, ④, ⑤: 도전대안과 방어대안에 대한 편익의 차이와 비용의 차이를 같다고 놓고 이때의 증분 ROR을 계산한다. 만약 이 값이 8%보다 크면 방어대안보다 도전대안이 좋다는 뜻이므로 방어대안은 폐기된다. 만약 이 값이 8%보다 작으면 방어대안이 더 좋다는 뜻이므로 도전대안이 폐기되고, 그 다음 대안이 도전대안이 되어 비교된다. 이런 과정을 계속해서 끝까지 남은 대안이 최적안이 된다.

$$(ROR)_{B-A} = \text{앞에 ②에서 } 26.1\%$$

그러므로 A 대안은 폐기되고, B와 C를 비교

$$(ROR)_{C-B} = -1,000 - (-800) + (255 - 210)(P/A)^i = 0 \quad i = 22.3\%$$

그러므로 B 대안은 폐기되고, C와 D를 비교

$$(ROR)_{D-C} = -1,300 - (-1,000) + (283 - 255)(P/A)^i = 0 \quad i = 6.9\%$$

8%보다 작으므로 D 대안은 폐기되고, C와 E를 비교

$$(ROR)_{E-C} = -1,350 - (-1,000) + (292 - 255)(P/A)^i = 0 \quad i = 8.5\%$$

그러므로 C 대안은 폐기되고, E와 F를 비교

$$(ROR)_{F-E} = -1,500 - (-1,350) + (304 - 292)(P/A)^i = 0 \quad i = 5.0\%$$

8%보다 작으므로 F 대안은 폐기되고 E와 G를 비교

$$(ROR)_{G-E} = -1,650 - (-1,350) + (319 - 292)(P/A)^i = 0 \quad i = 6.4\%$$

8%보다 작으므로 G 대안은 폐기되고, E가 가장 좋은 대안이며, 이 대안의 수익률은 21.3%이다.

※ 여기서 거듭 유의해야 할 것은 ②에서 구한 값이 크다고 해서 그것이 최적안이 아니라는 사실이다. 마찬가지로 ④의 증분 ROR 값이 크다고 최적안이 되는 것이 아니다. ■

**예제 16.7** 두 대안 A, B가 있다. A 대안은 초기투자 4,000에 매년 순편익(편익 - 비용) 800이며 서비스수명이 17년이고, B 대안은 초기투자 5,000에 매년 순편익이 950이며 서비스수명은 23년이다. 이 프로젝트가 끝난 다음 똑같은 프로젝트가 계속적으로 반복되는 경우와 그렇지 않는 경우의 경제성을 평가하라. MARR는 15%이다.

**풀이** (1) 프로젝트가 계속 반복될 경우: EUAW, B/C비, 또는 ROR 방법으로 분석하면 좋으므로 이 중에서 EUAW 방법을 사용하기로 한다.

$$(EUAW)_A = -4,000(A/P)_{17} + 800 = -4,000(0.16537) + 800 = 138.5$$

$$(EUAW)_B = -5,000(A/P)_{23} + 950 = -5,000(0.15628) + 950 = 168.6$$

(2) 프로젝트가 반복되지 않을 경우: 연간비용을 모르므로 EUAC와 PWC 방법을 제외한 어떤 방법을 사용해도 좋으나 위에서 EUAW 방법을 사용했으므로 이 방법을 사용해서 대안 B를 분석한다. 분석기간은 17년이다.

① 23년부터 17년까지 6년간의 연균등액 168.6을 분석기간 말인 17년째에 일시불로 환산  
 $168.6(P/A)_6 = 168.6(3.784) = 638$

② 이를 17년간의 연균등액으로 환산  
 $638(A/F)_{17} = 638(0.01537) = 9.8$

③ 조정된 연간등가 순편익  
 $(EUAW)_B = 168.6 - 9.8 = 158.8$

**예제 16.8** A, B, C 프로젝트의 각 대안들의 초기투자비용과 순현재가(편익-비용)가 다음 표와 같을 때, 다음 각 경우와 같은 가용예산의 규모에 따른 가장 경제적인 프로젝트 및 대안을 선택하라.

대안	초기투자비용(억 원)	순현재가(억 원)
A <sub>1</sub>	100	300
A <sub>2</sub>	120	250
A <sub>3</sub>	300	800
B <sub>1</sub>	150	260
B <sub>2</sub>	220	480
C <sub>1</sub>	350	-70

- (1) 예산상의 제약이 없을 때
- (2) 가용예산이 200억 원뿐일 때
- (3) 가용예산이 280억 원뿐일 때
- (4) 가용예산이 310억 원뿐일 때
- (5) 가용예산이 450억 원뿐일 때

- 풀이**
1. NPW가 ‘-’값을 갖는 C 프로젝트는 실행할 가치가 없으므로 제외시킨다.
  2. 동시에 실행할 수 있는 대안조합을 만들고 이들을 초기투자비용의 크기순으로 나열한다(상호배타적인 대안, 예를 들어 A<sub>1</sub>과 A<sub>2</sub>는 동시에 실행될 수 없으므로 같은 조합이 될 수 없다).
  3. 가용예산보다 적거나 같은 초기투자비용으로 최대의 NPW를 얻을 수 있는 대안조합을 선택하고, 투자하고 남은 예산은 A, B, C 이외의 다른 프로젝트에 사용한다.

동시 실행 가능한 대안조합	초기투자	순현재가
$A_1$	100	300
$A_2$	120	250
$B_1$	150	260
$B_2$	220	480
$A_1, B_1$	250	560
$A_2, B_1$	270	510
$A_3$	300	800
$A_1, B_2$	320	780
$A_2, B_2$	340	730
$A_3, B_1$	450	1,060
$A_3, B_2$	520	1,280

- (1) 예산상의 제약이 없을 때:  $A_3, B_2$  선택
- (2) 가용예산이 200억 원뿐일 때:  $A_1$  선택
- (3) 가용예산이 280억 원뿐일 때:  $A_1, B_1$  선택
- (4) 가용예산이 310억 원뿐일 때:  $A_3$  선택
- (5) 가용예산이 450억 원뿐일 때:  $A_3, B_1$  선택

## 제 18 장

**예제 18.1** 체중 65 kg인 운전자에 대하여 사고 발생 2시간 후에 혈중알코올 농도를 측정하였더니 0.05%가 나왔다. 사고 당시의 혈중알코올 농도는 얼마로 추정되는가?

- 풀이**
- 표에서 체중 65 kg인 사람의 BAL 감소량 = 0.025%
  - 운전자의 사고 당시 BAL =  $0.05 + (0.025) \times 2 = 0.10\%$

**예제 18.2** 어느 도로를 주행 중이던 차량이 급정거할 때 생긴 활주흔의 길이가 35 m이었다. 마찰 계수(또는 감속도)를 구하기 위하여 현장에서 시험차량으로 60 kph로 주행하다가 급정거한 결과 나타난 활주흔의 길이는 25 m이었다면 제동 직전의 초기속도는 얼마인가? 또 만약 이 활주흔이 + 10% 경사구간에서 생긴 것이고 또 시험도 이 경사구간에서 행한 것이라면 초기속도는 얼마인가?

- 풀이**
- 식 (18.3)에서  $u_2 = 0$
  - 평균최대감속도:  $a = u_1^2 / 2d = (60/3.6)^2 / (2 \times 25) = 5.56 \text{ m/sec}^2$
  - 따라서 사고차량의 초기속도는  

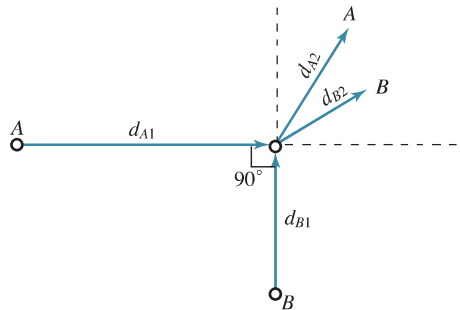
$$u_1 = \sqrt{2 \times 5.56 \times 35} = 19.73 \text{ m/sec} = 71 \text{ kph}$$
  - 위의 감속도는 경사구간에서 실험한 것이므로 그 감속도에 이미 경사의 영향이 포함되어 있다. 따라서 초기속도는 71 kph로 변함이 없다.

**예제 18.3** A 차량이 주행 중 주차해 있는 B 차량과 충돌하여 두 차량이 함께 15 m 미끄러져 정지하였다. A 차량의 무게를 1,200 kg, B 차량의 무게를 1,800 kg이라 하고 마찰계수는 0.5라 할 때 A 차량의 초기속도를 구하라. 단, 완전비탄성충돌이라 가정한다.

**풀이**

- $m_A = 1,200 \text{ kg}$        $m_B = 1,800 \text{ kg}$   
 $u_{A0} = ?$        $u_{B0} = u_{B1} = 0$   
 $d_2 = 15 \text{ m}$
- $u_2^2 = 254(f+s)d_2 = 254(0.5)(15) = 1,905$   
 $u_2 = 43.65 \text{ kph}$
- $m_A u_{A1} + m_B u_{B1} = (m_A + m_B) u_2$   
 $1,200 u_{A1} + (1,800)(0) = (3,000)(43.65)$   
 $u_{A1} = 109 \text{ kph}$

**예제 18.4** 무게 1,200 kg, 1,800 kg인 A, B 차량이 직각으로 충돌하여 그림과 같은 위치에서 정지하였다. 이때  $d_{A0} = 40 \text{ m}$ ,  $d_{B0} = 30 \text{ m}$ ,  $d_{A1} = 20 \text{ m}$ ,  $d_{B1} = 15 \text{ m}$ ,  $\angle A = 60^\circ$ ,  $\angle B = 30^\circ$ 이었다. 완전탄성충돌이라 가정할 때 A, B 차량의 초기속도를 구하여라. 단, 마찰계수는 0.5이다.



**풀이**

- $m_A = 1,200 \text{ kg}$        $m_B = 1,800 \text{ kg}$   
 $\alpha = 90^\circ$ ,       $A = 60^\circ$ ,       $B = 30^\circ$
- $1,200 u_{A1} + 1,800 u_{B1} \cos 90^\circ = 1,200 u_{A2} \cos 60^\circ + 1,800 u_{B2} \cos 30^\circ$   
 $1,800 u_{B1} \sin 90^\circ = 1,200 u_{A2} \sin 60^\circ + 1,800 u_{B2} \sin 30^\circ$
- 이를 간단히 하면  
 $1,200 u_{A1} = 600 u_{A2} + 1,558.8 u_{B2}$   
 $1,800 u_{B1} = 1,039.2 u_{A2} + 900 u_{B2}$
- 또  $u_{A2}^2 = 254(0.5)(20) = 2,540$ 에서  
 $u_{A2} = 50.4 \text{ kph}$   
 $u_{B2}^2 = 254(0.5)(15) = 1,905$   
 $u_{B2} = 43.6 \text{ kph}$

- 따라서  $u_{A1} = 0.5u_{A2} + 1.299u_{B2} = (0.5)(50.4) + (1.299)(43.6) = 81.8 \text{ kph}$   
 $u_{B1} = 0.5773u_{A2} + 0.5u_{B2} = (0.5773)(50.4) + (0.5)(43.6) = 50.9 \text{ kph}$
- 또  $u_{A0}^2 - u_{A1}^2 = 254(0.5)(40) = 5,080$   
 $u_{B0}^2 - u_{B1}^2 = 254(0.5)(30) = 3,810$ 이므로  
 $u_{A0} = \sqrt{5,080 + 81.8^2} = 108.5 \text{ kph}$   
 $u_{B0} = \sqrt{3,810 + 50.9^2} = 80 \text{ kph}$

**예제 18.5** A차량이 20 m 거리를 미끄러진 후 10 m 높이의 언덕에서 추락하였다. 추락지점의 수직선 아래지점에서부터 추락지점까지의 수평거리가 30 m라면 초기속도는 얼마인가? 만약 미끄러짐이 없이 추락하였다면 초기속도는 얼마인가? 단, 마찰계수는 0.5이다.

**풀이**

- $u_1 = \sqrt{63.5 \times 30^2 / 10 + 254 \times 0.5 \times 20} = 91 \text{ kph}$
- $u_1 = \sqrt{63.5 \times 30^2 / 10} = 75.6 \text{ kph}$

**예제 18.6** 곡선반경 200 m인 도로구간에서 편주현상이 일어나 차량이 전복되는 사고가 발생하였다. 편주현 시작점의 곡선반경이 300 m이고 편구배 2%, 횡방향 마찰계수가 0.3일 때, 편주가 시작되는 점에서 이 차량의 주행속도는 얼마인가? 만약 편주현의 곡선반경을 측정할 수 없었다면 이 차량은 최소 얼마의 속도로 주행했겠는가?

**풀이** 식 (18.7)에서

$$u = \sqrt{127R(e+f)}$$

$$u = \sqrt{127(300)(0.3+0.02)} = 110 \text{ kph}$$

$$u = \sqrt{127(200)(0.32)} = 90 \text{ kph}$$

따라서 최소한 90 kph의 속도로 주행했다.