

제 19 장

교통경제

교통업무에 종사하는 사람은 교통시설을 계획하고 설계하는 데 있어서 그 시설에 의해서 야기되는 전반적인 사회적·경제적 영향에 관심을 가져야 한다. 뿐만 아니라 교통시설의 경제적인 설계에도 관심을 두어야 하며, 이러한 두 가지 책무는 서로 상충될 수도 있지만 최종적인 의사결정과정에서 이들의 가치는 각각 나름대로의 중요성을 갖게 된다.

우리가 일반적으로 말하는 교통경제란 이 두 가지를 다 의미하지만, 경제학에서 주로 다루는 것은 전자의 Transportation Economics로서(경제, 경영학에서는 이를 교통학이라고 한다) 교통이 국가 및 지역사회의 경제에 미치는 영향을 분석하고 교통과 경제발전의 관계를 취급한다. 한편 교통공학에서 다루는 교통경제란 주로 후자인 Transportation Economy로서 경제적인 설계, 즉 교통시설 건설비용과 차량운행비용을 줄이는 설계가 어떤 것인지를 검토하는 것으로서 공학경제(Engineering Economy) 기법을 사용한다.

이 장에서는 전자인 Transportation Economics를 주로 취급했으나, 5절에서는 Transportation Economy에 관련된 내용이 포함되어 있다. Transportation Economy에 관한 것은 제16장에 자세히 언급한 바 있다.

19.1 개설

인간의 활동은 그 종류 및 특성에 따라 다양한 생활공간을 가지며, 이 공간의 연결활동은 교통에 의해서 이루어진다. 다시 말하면 인간이 사는 사회란 교통으로 연결되는 공간이다. 그러나 이 공간을 극복하는 데는 반드시 시간을 필요로 한다. 이와 같은 의미에서 볼 때 교통은 공간적인 개념인 동시에 시간적인 개념이기도 하다. 오늘날 시간을 생각하지 않는 단순한 교통공간은 사회적인 측면에서 볼 때 무의미하다. 따라서 교통공간은 그것을 극복하는 데 소요되는 시간에 의해 과거·현재·미래를 엮어 가는 역사적 공간이다.

교통공간을 극복하는 데는 운송비용(또는 운임)을 필요로 하므로 경제적 개념을 도외시한 교통공간은 있을 수 없다. 운송비용 또는 운임은 운송시간의 의미도 포함한다. 철도화물 수송이 신속한데 비해 수송시일이 훨씬 더 많이 소요되는 해상운송이 존재하는 이유나 경쟁가능성을 생각해 보면

그 이유를 알 수 있다.

운임은 그 크기에 따라 같은 교통공간을 길게도 하고 짧게도 하며(우회노선, 직선노선), 또 소요 시간을 길게도 하고 짧게도 한다(완행, 급행). 이와 같이 운임이 교통공간이나 교통시간을 왜곡시키는 것은 운임이 단순히 교통비용만을 반영하는 것이 아니라 수요공급의 사정, 즉 운송업자 간의 수급경쟁 관계를 반영하기 때문이다. 운임이 사회경제적 소산이라고 하는 이유는 바로 이 때문이다.

19.1.1 교통의 성질

인간생활에서 발생하는 욕구의 충족은 공간적인 이유로 제약을 받으며, 교통은 이와 같은 공간적인 제약을 극복하는 기술이다. 이와 같이 교통은 생산행위와 마찬가지로 욕구와 충족의 중간행위이지만 이것이 생산과 다른 점은, 생산은 가치의 질적 창출을 의미하지만 교통은 상품의 위치를 옮겨서 가치를 창출한다. 다시 말하면 효용을 증대시킨다는 점에서는 교통과 생산에 차이가 없으나, 이 둘이 서로 구별되는 것은 교통에 의한 효용의 증대라는 것이 공간극복을 통한 기술에 의해 이루어진다는 것이다.

1 교통의 잠재력

영국의 유명한 경제학자 M. R. Bonavia¹⁾는 경제적 측면에서 본 교통의 성질을 다음과 같이 말했다.

“교통의 기능은 상품을 옮기는 데 있으며, 상품의 한계효용이 적은 곳에서부터 큰 곳으로 옮기는 것이다. 이 과정을 거치는 동안 그 상품은 유형적인 변화를 일으킬 수도 있으므로 결국 그 상품의 최종적인 효용은 형태적 효용(form utility), 공간적 효용(place utility) 및 시간적 효용(time utility)으로 혼합되어 나타난다.”

이와 같은 표현은 승객수송에서도 그대로 적용될 수 있다. 즉 교통의 기능은 어떤 사람이 어느 곳에 그대로 있을 경우의 중요성보다 그가 나타남으로써의 중요성이 더 크다고 생각되는 곳으로 이동시키는 것이다.

예를 들면 강원도 양양에서 채굴되는 철광석을 생각해 보자. 그것은 선철(銑鐵)로 사용되기도 하고, 또 최종적으로 건물이나 자동차 등에 사용되는 강철로도 변한다. 양양에서의 철광석의 효용은 분명히 포항제철소에서의 효용보다는 적다. 여기서 보는 바와 같이 교통의 기능은 효용이 낮은 곳에서부터 높은 곳으로 철광석을 옮기는 것이다. 이와 같은 과정은 철광석이 두 지점에서 서로 다른 효용을 나타내기 때문에 발생한다고 볼 수 있다.

만약 상품수요가 한계효용에 의해 좌우된다고 가정한다면 교통의 잠재력, 즉 교통수요는 그 상품에 대한 가격-수요량과의 관계(수요표 또는 demand schedule로 나타내는 것과 같은)와 여러 곳에서의 수요가 얼마만큼 충족되었는가에 달려 있다고 볼 수 있다. 예를 들어 삼척에서 생산되는 시멘트 한 포대의 값이 삼척에서는 5,000원으로 그곳의 수요를 충족시키나, 서울에서는 그 값으로는 수

요를 충족시킬 수 없다고 가정한다. 그러면 시멘트 한 포대의 효용은 삼척보다는 서울에서가 더 크다. 즉 수요가격(demand price: 수요자가 판단하는 최대허용 지불가격)이 삼척에서보다 서울에서 더 높다. 결국 그렇게 되면 삼척에서 서울로 시멘트를 수송할 잠재력이 생기게 된다.

2 교통의 양

일단 교통의 잠재력(교통수요)이 생기게 되면 얼마나 많은 교통이 발생할 것인가 하는 것은 교통 서비스에 소요되는 비용에 의해 좌우된다. 다시 말하면 장소 간 한계효용의 차이가 존재한다고 해서 반드시 교통이 발생하는 것은 아니다. 만약 운송비용이 수요가격의 차이(한계효용의 차이)보다 크다면 교통수요는 발생하지 않는다. 이와 같이 교통의 양은 두 지점에서의 수요에 대한 상대적 탄력성과 운송비용에 의해 좌우된다.

3 교통의 경제적 기능

Milne과 Laight²⁾는 교통의 기능을 시장확장과 전문화(專門化)와 같은 경제활동과 규모의 경제에 관련시켜 이야기했다. 즉,

“상품을 생산하는 데 있어서의 전문화 정도를 결정하는 데 결정적인 역할을 하는 상품시장의 범위는 교통시설의 정도에 좌우된다. 특정 상품에 대한 시장의 범위나 수요량(상대적인 잉여를 교환하는 능력)은 생산자와 소비자 간의 한계효용의 차이와 이 차이를 메워 주는 데 기여하는 교통수단에 의해 좌우된다. 교통의 기능은 생산자와 소비자 간의 시간적, 공간적인 간격을 상품의 이동(화물운송)이나 사람의 이동(승객수송)을 통하여 메워 주는 것이다.”

(1) 시장형성 및 확장기능

같은 상품이 같은 가격을 형성하는 경향이 있는 공간적 범위를 시장이라고 할 때 이 시장의 형성, 즉 공간적 범위의 결정은 주로 교통에 의존한다. 다시 말하면 시장은 교통기관이 도달할 수 있는 공간적 한계이다. 이와 같은 시장의 형성은 운송비용(운임)의 부담이 적어질수록 쉽게 성립이 된다. 예를 들어 어느 상품의 생산지 가격을 P_0 , 소비지 도달가격을 P_1 , 단위당 운송비용을 x , 생산지에서 소비지까지의 거리를 y 라 한다면 $P_0 + xy = P_1$, 즉 $y = (P_1 - P_0)/x$ 이다. 이것은 운송비가 적을수록 운송거리(즉, 시장범위)가 커진다는 것을 의미하며, 시장범위를 단순한 공간의 의미로만 해석해서는 안 된다는 뜻이다. 뿐만 아니라 시장의 형성에서 실질적으로 중요한 것은 시장상품의 종류와 수량이다(철도의 영업 km보다 운송 ton-km가 더욱 의미가 있는 것과 같다). 시장상품의 종류와 수량에 영향을 미치는 교통의 성질은 운송속도, 운송빈도 및 운송밀도(매회 평균운송량)이다.

운송속도의 증대는 시장상품의 수량뿐만 아니라 종류까지도 증가시킨다. 운송시간이 단축되면 지금까지 운송대상이 될 수 없었던 부패하거나 변질되기 쉬운 상품, 즉 생선, 우유, 야채, 꽃 등이 더욱 용이하게 시장에 등장한다. 또 운송시간이 단축되어 이자부담이 적어지므로 고가상품의 시장 참여가 쉬워진다.

운송빈도의 증대는 시장상품의 수량을 크게 증가시키며 시장 간의 관계가 긴밀해지고, 또 유기적

으로 된다. 운송밀도가 커지면 평균운송비용이 감소하여 상품의 시장도달가격이 작아진다. 이와 같은 시장의 원리는 단지 물적 상품의 시장에만 국한된 것이 아니라 토지시장(지가), 노동시장(노임), 자본시장(이자)에도 그대로 적용된다. 교통수단이 발달하여 경작지가 확대되면 각 경작지의 지가는 평균화되고, 농산물이 증가하여 농산물 가격을 하락시킨다. 또 노동자는 손쉽게 이동할 수 있기 때문에 그들의 고용주를 쉽게 바꿀 수가 있으며, 따라서 노동시장이 확대되고 노임의 평균화 현상을 초래한다. 자본시장의 경우도 마찬가지로 전신전화의 발달에 의해 자본 이전에 소요되는 시간이 아주 단축되어 자본시장이 확대되고 이자의 평균화가 이루어진다.

시장이 확대되면 시장상품이 양적으로나 질적으로 증가하게 되고 대량생산의 필요성이 생기며, 생산자와 소비자는 더욱 밀접해지고, 구매자와 판매자의 선택범위도 넓어진다. 시장은 그만큼 경쟁성이 커지게 되고, 생산자와 소비자의 경제활동도 그만큼 합리적으로 이루어진다.

(2) 전문화

교통과 경제가 함께 발전하면 생산지와 소비지가 분리되기 쉽다. 교통이 발달하면 한 지역에서 필요로 하는 여러 가지 상품을 그 지역에서 모두 생산할 필요가 없는 대신, 각 지역에서 한두 가지 상품만을 전문적으로 생산할 수 있다. 이는 곧 생산단가를 줄이기 위한 대량생산으로 연결된다. 대량생산은 전문화 또는 특수화된 집약적 경영형태를 요구하며, 그러기 위해서는 그 기반조건인 교통이 어느 정도 발달하지 않으면 안 된다. 이때의 교통은 단순히 운송범위나 운송량에서만 뿐만 아니라 정시성의 측면에서도 크게 발전된 것이 아니면 기업의 집약적 경영은 불가능하다. 기업의 집약화는 동시에 계획화를 의미하며, 이와 같은 경영형태는 분업에서 잘 나타난다.

교통수단의 발달은 또 경제생활을 규칙적으로 유도하여 기업경영에서의 불확실성을 감소시킨다. 다시 말하면 경제활동이 규칙적으로 이루어지면 생산부문은 물론이고 유통이나 상업부문에서 유휴자본이 감소한다. 예를 들면 소매업에서는 당장의 수요에 적절한 상품재고만 있으면 된다. 오전에 전화로 도매상에 주문해 놓으면 오후에는 그 수요를 충족할 수 있기 때문이다. 그러므로 교통이나 통신이 발달하면 경제주체 상호 간의 연락이 긴밀해지고 지금까지 체계적이거나 계획적이지 못했던 수급관계는 규칙적이며 능률적이게 되어 훨씬 적은 재고량으로 같은 효과를 올릴 수 있다.

운송이 private carrier 단계에 머물러 있는 한 충분한 교역은 이루어질 수 없다. 그러나 common carrier 단계로 발전하면 상품의 수요자나 판매자는 스스로 운송기관을 소유하지 않고도 제일 싼 운임의 운송업자를 이용하여 자유롭게 상품을 교역할 수 있게 된다. 따라서 시장은 충분히 개방·확대되고 분업은 더욱 완전해지며 적당한 규모의 생산을 할 수가 있다.

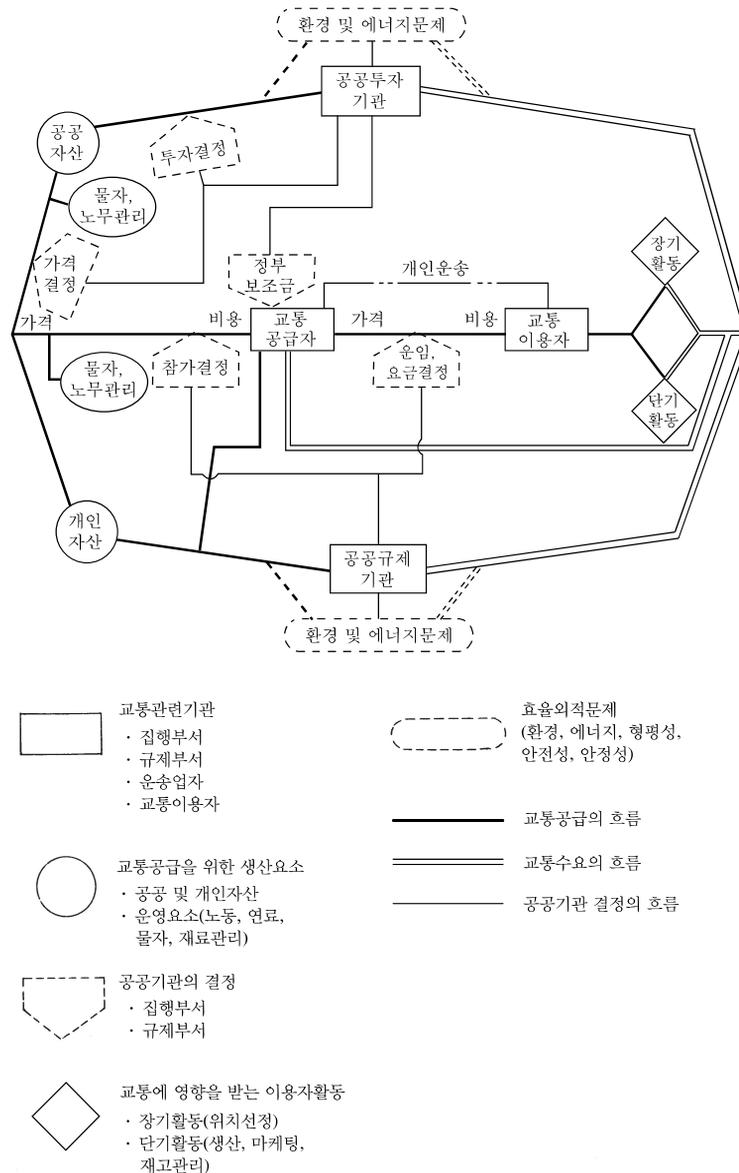
대량생산은 당연히 원자재 구입과 제품의 판매가 넓은 시장에서만 가능하며, 그러기 위해서는 당연히 운송비용이 저렴한 장거리 운송이 필요하다. 저렴한 운송비용은 교통수단의 개선이나 교통경영의 합리화로 달성된다.

교통수단의 경제적 기능은 간접적이기 때문에 자칫하면 간과되기 쉬우나 사회·경제발전의 계기는 오히려 이러한 간접적인 데 숨어 있다. 생산기술상의 발전은 해당 산업분야나 소수의 연관 산업에만 영향을 미치지만, 교통수단의 발달은 시간이 경과할수록 모든 산업에 광범위한 영향을 미친다.

19.1.2 교통경제의 분야

경제에 관련되는 교통활동의 주체는 교통서비스의 제공자(운송사업자), 교통서비스 이용자 및 공공기관이다. 여기서 공공기관이 포함되는 이유는 교통이 공공성을 지니고 있는 ‘공기(公器)’이기 때문이다. 이 공공성은 사실상 교통이 특별히 지니고 있는 사회성에 기인한다. 뿐만 아니라 공공성이 강한 교통시설에 직접투자를 하며 이를 운영, 유지관리하는 것도 물론 공공기관이 해야 할 임무이다.

[그림 19.1]은 교통경제에 포함되는 제반 요소들의 상관관계를 도식화한 것으로, 교통경제의 주



[그림 19.1] 교통경제의 틀

자료: 참고문헌(3)

체인 교통서비스 이용자, 교통서비스 공급자, 공공투자기관, 공공규제기관을 나타내고, 그들의 활동을 분석하며 그 활동들의 상호연관성을 나타낸다.

1 교통수요(기업의 물류관리)

장기 교통수요는 산업입지에 따라 영향을 받는다. 다시 말하면 교통이용자, 즉 제조업, 서비스업, 농업, 광업, 도매, 소매업 등의 위치가 어디로 결정되는가에 따라 교통서비스의 장기수요는 달라진다. 또 단기수요는 이들 산업의 생산 및 판매활동에 따라 좌우된다. 이와 같은 수요에 따라 교통공급자는 교통투자를 결정하고, 공공투자기관은 도로, 철도 등 공공시설에 대한 투자를 결정하며, 공공규제기관은 운송사업(교통공급자)의 서비스 공급수준과 운임을 규제한다.

이 분야는 교통과 산업입지 선정 및 상품의 재고관리와의 종합적인 관계, 자가운송을 포함한 각종 운송수단 분석, 생산과 마케팅 정책에 관련된 물류관리(logistics) 등 교통이용자와 교통수요의 관계를 취급한다.

2 교통공급 및 운임(운송사업 관리)

경영관리의 원리를 교통서비스 공급의 주체가 되는 운송사회에 적용시키는 분야로서, 마케팅 문제, 비용 산정, 운임결정 및 공공기관과의 관계 등을 다룬다. 교통서비스를 생산하기 위해서 교통기업 자신의 자산뿐만 아니라 공공자산도 함께 사용하는 경우가 많으므로 이때의 기업의 역할을 검토하고, 운송비용 및 교통수요가 운임결정에 미치는 영향을 검토한다. 교통기업이 결정하는 비용과 운임수준은 공공규제기관의 직접적인 규제를 받는다.

3 공공투자(경제발전과 교통)

공공투자기관(건설교통부, 내무부 등)은 교통을 위한 공공시설의 규모와 형태를 결정하고, 이에 따른 투자를 결정한다. 뿐만 아니라 그와 같은 시설을 운영하고 유지관리하며, 사용자 분담금(통행료, 차량등록세, 유류세 등)을 결정한다. 따라서 정부의 교통진흥정책과 교통투자의 평가방법 등을 연구한다.

4 교통규제(공공정책)

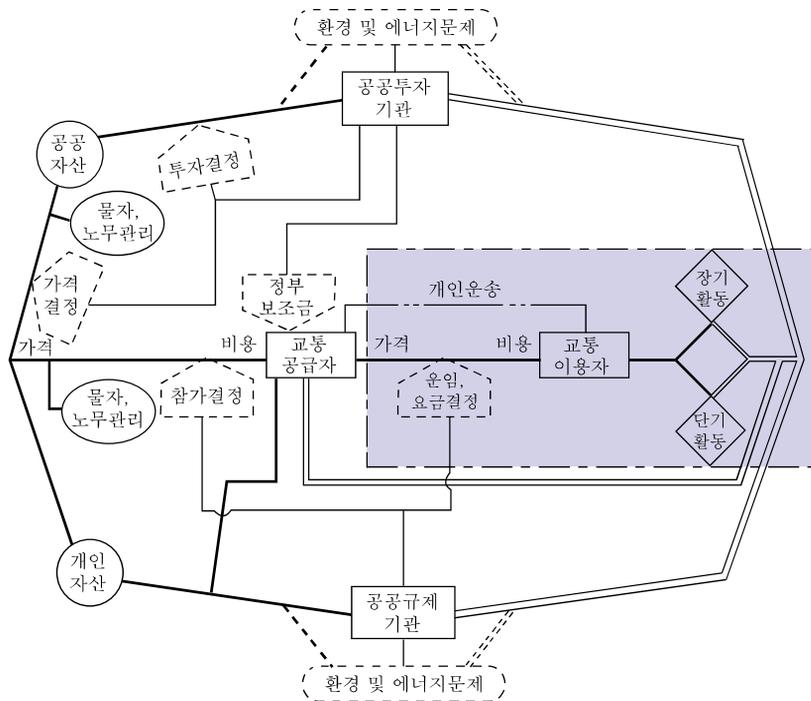
공공규제기관에서 행하는 교통공급 및 운임에 대한 규제는 교통수요에 대한 충족수준에 영향을 주며, 교통기업의 자유재량권은 어느 정도 제약을 받는다. 교통이용자(특히 대중교통 이용자)도 엄밀한 의미에서 규제를 받는다고 볼 수 있으나, 그 자신이 교통수단을 보유하면 그 규제를 면할 수 있다. 이와 같은 교통규제정책은 그에 따른 교통기업의 조직과 운임을 분석하고, 그 정책의 경제적 효율성을 평가하고, 교통공급자나 이용자에게 미치는 영향을 분석함으로써 그 정책의 효과를 규명할 수 있다.

교통경제에 관련된 공공정책은 주로 자원배분문제에 초점을 맞추지만, 그 외에도 운송체계가 효율외적 논점인 경제·사회적 목표를 추구하도록 요구하기도 한다. 경제발전 초기의 정부의 교통진흥

및 규제정책은 운임규제 등을 통한 소득분배를 주요 목표로 하지만, 그 후에는 완전고용과 같은 경제안정에 목표를 두는 것이 보통이다. 뿐만 아니라 국가안보, 정보의 보급, 문화, 사회, 정치적 일체감을 촉진시키는 것과 같은 사회적 목표도 공공정책에 포함된다. 최근에는 환경 및 에너지문제가 교통정책에 영향을 미치고 있으며, 따라서 교통공급자와 이용자도 이에 영향을 받는다.

19.2 교통수요(기업의 물류관리)

교통경제의 영역에서 교통수요가 관련되는 부분은 [그림 19.2]와 같이 나타낼 수 있다.



[그림 19.2] 교통수요의 영역

19.2.1 노드의 위치선정⁴⁾

기업이 물류관리(logistics)를 함에 있어서 노드(node)의 위치에 따라 그 상품의 시간적 및 공간적 효율을 창출하는 효율이 크게 달라진다. 여기서 노드라 함은 물류관리과정(수집, 적하, 수송, 저장, 분배)이나 그 체계에서의 고정지점을 말한다. 노드의 위치는 상품을 이동시키거나 저장하는 데 소요되는 시간과 비용에 영향을 주며, 또 재고관리나 물류관리의 비용을 좌우하고, 소비자에게 제공되는 서비스의 수준과 비용에도 영향을 미친다. 일단 노드의 위치가 결정되면 물류관리의 책임자는 최소의 비용으로 시간적 및 공간적 효율을 극대화하기 위하여 노선서비스, 취급, 주문처리 등 물류관리

의 다른 요인들에 관심을 쏟는다.

물류관리 체계상의 노드는 물리적으로나 재정적인 문제 때문에 쉽게 옮길 수 있는 성질이 아니나, 장기적인 관리면에서 볼 때는 변할 수 있는 것이다. 대부분의 기업들은 시장확장, 인공이동, 생산라인의 개발, 기술변화, 경쟁압박 등과 같은 요인들 때문에 항상 새로운 노드의 위치를 모색하게 된다. 따라서 노드의 위치선정은 오늘날 변화무쌍한 기업환경으로 볼 때 기업의 성공에 중요한 관건이라고 볼 수 있다.

노드의 위치선정 기준은 여러 가지가 있다. 비용과 편익의 효과와 같이 계량화가 가능한 것이 있는가 하면 그 위치가 피고용인들에게 제공하는 문화, 교육, 위락기회 등과 같이 계량화가 어려운 것도 있다. 위치선정은 일반적으로 계량화가 가능한 요인부터 검토한 후에 비계량화 요인을 고려한다. 또 계량화 요인 중에서도 운송비용을 먼저 고려한 다음 토지, 동력, 노동의 비용 및 가용성 등과 같은 비물류관리 결정요소를 고려하는 순서를 밟는다.

1 교통과 위치결정

운송비용이 노드의 위치선정에 미치는 영향을 파악하기 위해서 먼저 위치선정이론을 소개한다.

(1) Von Thunen 이론⁵⁾

Johann Heinrich von Thunen은 독일의 농학자로서 위치에 관한 생산요소의 이론화를 처음으로 시도한 사람이다. 그는 위치결정의 중요한 요소로서 운송비 최소화를 꼽았다. 그의 이론에 의하면 무게에 비해 가치가 낮은 생산물(농작물과 같은)은 장거리수송에 따른 수송비 부담을 감당할 수 없으므로 수송비를 낮추기 위해서는 소비지(도시)와 가까운 위치에서 생산해야 한다는 것이다.

위치결정요소로서 수송에 관계되는 또 하나의 요소는 수송시간이다. 신선한 야채와 같이 변하기 쉬운 생산물은 도시 부근에서 생산되어야만 빠른 시간 내에 소비시장으로 보낼 수 있다. 이때의 위치결정요소는 수송비가 아니라 수송시간이다. 따라서 생산물의 종류에 따라 소비시장을 중심으로 한 생산지의 위치를 환상형으로 나타낼 수 있으며, 무게에 비해 가치가 높은 생산물은 도시로부터 더욱 멀리 떨어진 곳에서 생산될 수 있다.

농산물 생산위치에 관한 그의 이론은 오늘날의 기업에 적용하기에는 현실성이 없지만, 위치결정 이론의 기초를 제공한 점과 수송비와 위치결정의 상관관계를 나타내는 시초가 되었다는 점에서 그의 업적은 높이 평가된다.

(2) Weber 이론⁶⁾

Alfred Weber는 독일의 경제학자로서 생산시설의 위치선정에 관한 이론을 발전시켰다. Thunen과는 달리 그는 제철 산업에 대한 원자재의 생산지와 완성된 생산품의 소비지가 정해져 있을 때 그 산업의 가장 적합한 위치를 결정하는 것이 중요하다고 보았다. 그는 상품의 무게와 운송거리가 같으면 수송비가 같다는 가정하에서 원자재를 생산공장에 보내고 완성된 제품을 소비시장으로 보내는 데 소용되는 총 수송비와 노임 등 기타 요소들을 생산시설 위치선정의 결정요소로 보았다. 여기서 원자재의 두 가지 특성, 즉 어디서나 획득이 가능한 것인가 아니면 특정 장소에서만 얻을 수

있는 것인가의 지리적 가용성과 생산과정에서 무게가 줄어드는가 아니면 그대로인가에 따라 총 수송비는 달라지며, 따라서 적정 생산위치도 달라진다.

Weber의 이론은 수송비에 주안점을 둔 최소비용 접근방법이다. 원자재의 위치나 시장지역이 여러 곳으로 분산되어 위치선정이 매우 복잡할 때는 이 이론으로 해결하기가 어렵지만, 이 방법은 적용하기가 매우 간단하고 정확한 위치선정의 기초를 제공한다.

(3) Hoover 이론⁷⁾

미국의 Edgar M. Hoover는 Thunen이나 Weber와는 달리 산업시설의 적정위치를 결정하는 데 비용 요인뿐만 아니라 수요 요인을 고려하였다. 이 수요 요인은 위치선정 후에 발생하는 시장지역의 변화와 관계가 있다. 또 그는 분배비용이 생산가와 이에 따른 수요에 미치는 영향을 고려하였다.

그는 운임이 거리에 비례하지 않고 체감법칙을 따른다는, 즉 총 운임이 거리에 따라 증가하나 그 증가율은 낮아진다고 했다. 또 위치결정요인으로서 수송비의 중요성은 산업의 종류에 따라 다르다고 했다.

Hoover의 위치결정이론은 여러 가지 비용 요인을 더욱 심층적으로 분석하는 데 기여했으며, 그의 접근방법은 근본적으로 비용을 최소화하는 데 두었다.

(4) Greenhut 이론⁸⁾

미국의 경제이론가인 Melvin L. Greenhut은 위치결정요인으로서 수요에 초점을 맞추었다. 위치가 다르면 수요가 달라지고 따라서 이득도 달라지므로, 이득을 최대로 하는 위치는 비용이 최소가 되는 위치와 반드시 일치한다고 볼 수 없다.

그는 위치결정요인으로서 다음과 같은 수요, 비용 및 순수한 개인적 요인을 제시하였다.

① 수요 요인

- 어떤 생산물에 대한 수요 곡선의 모양
- 경쟁산업의 위치에 따라 결정되는 것
 - 수요의 크기
 - 위치변화에 따른 수요의 탄력성
- 근접도, 서비스 종류, 서비스 속도, 소비자 기호
- 개인적 친분과 판매와의 관계
- 비용과 요금정책으로 결정되는 시장범위
- 위치와 가격의 경쟁, 확실성과 불확실성

② 비용 요인

- 지가
 - 토지임대비용
 - 토지세
 - 자본능력

- 보험료율
- 에너지비용
- 노임 및 관리비용
- 재료 및 장비비용
- 수송비용

③ 순수 개인 요인

- 정신적 소득의 중요성
- 환경에 대한 선호
- 안전성

지금까지 우리는 수송비(물류관리비)가 위치결정에 미치는 영향을 고찰해 보았다. 수송비만이 위치결정 요인인 것은 아니지만 그것이 위치결정과정에서 있어서 매우 중요한 요인인 것만은 분명하다. 위치결정의 맨 첫 단계는 물류관리에 관한 여러 가지 변수를 고려하는 것이다.

2 격자기법

원자재의 산지(產地)와 시장지역이 하나가 아니고 여러 개일 때, Weber의 이론으로는 산업시설의 최적위치를 결정할 수 없다는 것은 앞에서 언급한 바 있다. 그러나 이 경우에 격자기법을 사용하면 이 문제를 해결할 수 있다.

이 기법은 원자재의 위치와 완성품의 시장지역이 정해져 있고 상품의 판매량을 안다는 가정하에 가장 낮은 수송비를 나타내는 한 지점을 결정하는 것이다. 원자재 산지와 완성품의 소비지를 포함하는 넓은 지역을 [그림 19.3]과 같은 격자망으로 만들어 각 지점의 정확한 위치를 좌표로 나타낼 수 있도록 한다. 예를 들어 FG_1 의 위치좌표는 (10, 10), FG_3 의 위치좌표는 (70, 30)이다.

만약 원자재와 완성품의 톤당(또는 km당) 수송비가 같다면 생산시설의 적정위치는 다음과 같이 구한다. 즉,

$$M = \frac{\sum^n D_i \cdot FG_i + \sum^m d_i \cdot RM_i}{\sum^n FG_i + \sum^m RM_i} \tag{19.1}$$

여기서 M : 생산시설의 적정위치(x 또는 y 좌표)

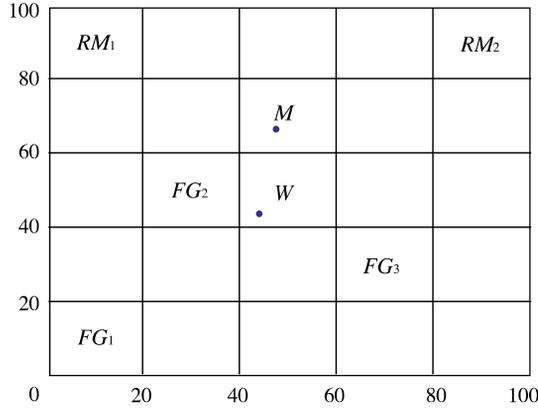
D_i : 원점에서부터 완성품의 소비지 i 까지 거리(x 또는 y 좌표)

d_i : 원점에서부터 원자재 산지 i 까지의 거리(x 또는 y 좌표)

FG_i : 소비지 i 에서 판매되는 완성품의 무게(또는 부피)

RM_i : 산지 i 에서 판매되는 원자재의 무게(또는 부피)

그러나 원자재나 완성품의 운임은 같지 않을 수도 있으므로 이때의 비용을 최소화 하는 생산시설의 위치는 다음과 같이 구한다. 즉,



RM = 원자재 산지
 FG = 완성품의 시장
 M = 최소비용 생산시설 위치
 W = 최소비용 창고 위치

[그림 19.3] 산지와 시장의 격자위치

$$M = \frac{\sum^n R_i \cdot D_i \cdot FG_i + \sum^m r_i \cdot d_i \cdot RM_i}{\sum^n R_i FG_i + \sum^m r_i RM_i} \quad (19.2)$$

여기서 R_i : 완성품을 i 소비지까지 수송하는 운임(톤-km당 요금)

r_i : i 산지의 원자재를 생산시설까지 수송하는 운임(톤-km당 요금)

이때 원거리 체감법칙이 운임에 적용된다면 이 공식의 사용은 적합하지 않다. 그러나 격자기법에는 몇 가지의 제한 사항이 있다. 첫째, 이것은 정적인 접근방법으로서 이렇게 해서 얻은 값은 오직 그 시점에서만 적정하다는 것이다. 상품 또는 원자재의 이동량이 변하거나 운임의 변화, 원자재 산지 또는 시장지역의 변화는 최소비용위치를 변화시킬 것이다. 둘째, 운임이 거리에 비례한다고 가정한 것이다. 실제의 총 운임은 거리에 따라 증가하나, 그 증가율은 체감한다. 셋째, 이 기법은 적정위치의 지형조건을 고려하지 않는다. 즉, 적정위치가 호수(湖水)가 될 수도 있다. 넷째, 물건의 이동방향 및 경로는 좌표로 나타낼 수 있는 것과 같은 직선이 아니다.

예제 19.1 아래에 주어진 원자재(RM)와 완성품(FG)의 위치, 무게, 운임에 대하여 격자기법을 이용하여 생산시설의 최소비용위치를 구하라([그림 19.3] 참조).

구분	무게(톤)	운임(원/톤-km)	위치좌표(x, y)
RM_1	120	15	(10, 90)
RM_2	140	15	(90, 90)
FG_1	50	20	(10, 10)
FG_2	60	20	(30, 50)
FG_3	70	20	(70, 30)

풀이

$$M_x = \frac{(20 \times 10 \times 50) + (20 \times 30 \times 60) + (20 \times 70 \times 70) + (15 \times 10 \times 120) + (15 \times 90 \times 140)}{(20 \times 50) + (20 \times 60) + (20 \times 70) + (15 \times 120) + (15 \times 140)}$$

$$= \frac{351,000 \text{원} \cdot \text{톤} - \text{km}}{7,500 \text{원} \cdot \text{톤}}$$

$$= 46.8 \text{km}$$

$$M_y = \frac{(20 \times 10 \times 50) + (20 \times 50 \times 60) + (20 \times 30 \times 70) + (15 \times 90 \times 120) + (15 \times 90 \times 140)}{(20 \times 50) + (20 \times 60) + (20 \times 70) + (15 \times 120) + (15 \times 140)}$$

$$= \frac{463,000 \text{원} \cdot \text{톤} - \text{km}}{7,500 \text{원} \cdot \text{톤}}$$

$$= 61.7 \text{km}$$

예제 19.2 위의 예제에서 완성품만을 취급하는 창고의 위치를 결정하라.

풀이 창고는 3개의 시장지역과 생산시설을 중개하는 지점이므로 생산시설에서 창고로 이동하는 물량은 180톤이며, 운임은 앞의 문제에서와 마찬가지로이다. 따라서

$$M_x = \frac{20[(10 \times 50) + (30 \times 60) + (70 \times 70) + (46.8 \times 180)]}{20(180 + 180)}$$

$$= 43.4 \text{km}$$

$$M_y = \frac{(10 \times 50) + (50 \times 60) + (30 \times 70) + (61.7 \times 180)}{360}$$

$$= 46.4 \text{km}$$

3 기타 계량적 기법

위치결정을 위한 방법에는 이 밖에도 선형계획법⁹⁾, 계발계획법¹⁰⁾(heuristic programming), 시물레이션¹¹⁾ 등과 같은 방법이 있으나 여기서는 자세한 설명을 생략한다. 선형계획법을 사용하는 데는 대단히 큰 컴퓨터용량을 필요로 하며, 계발계획법은 선형계획법과 같은 정확한 위치를 찾을 수가 없다. 또 시물레이션 기법은 방대한 자료와 복잡한 수학적 모형개발을 필요로 하며 다른 기법과 같은 정확한 해답을 보장하지 못한다.

19.2.2 교통수요의 개념

1 교통의 수요특성

경제활동으로서의 교통은 생산과정의 일부라기보다는 오히려 유통과정과 관련이 있다. 이것은 어느 의미에서 교통서비스에 대한 수요(교통수요)가 인간의 의식주에 대한 욕구처럼 직접적이며 본원적인 것이 아니라 간접적이며 파생적임을 뜻한다. 다시 말하면 파생수요(derived demand)로서의 교통수요는 그것의 본원수요(elemental demand)에 의존한다. 그러나 현대 경제사회에서 본원수요는 그 자체가 일차적인 수요이면서도 때로는 이차적인 파생수요가 충족된 후에 비로소 충족된다. 즉 파생수요의 충족이 오히려 본원수요충족의 전제가 된다.

인간이 만든 조직이나 기술 중에서 사회성이 없는 것은 없으나 다른 것은 제쳐두고 교통수단이나 교통기업을 특히 공기(公器)라 부르는 이유는 이들의 이용자가 대부분 불특정다수이기 때문이다. 따라서 교통기업의 발전형태가 지금까지 공공교통수단(common carrier) 또는 대중교통수단(public carrier)으로 발전하여 왔다.

공공성은 경제적으로는 ‘독점성’과 일맥상통한다. 교통기업은 비교적 큰 생산규모가 필요하기 때문에 새로운 기업이 참여하기가 매우 어렵다. 만약 이러한 부문에 다수의 기업이 참여한다면 시장규모의 제약 때문에 각 기업은 상대적으로 높은 비용에서 서비스를 생산할 수밖에 없을 것이다. 이 경우 각 기업은 시장을 확보하기 위해 경쟁적으로 가격을 낮추려고 하기 때문에 궁극적으로 소수의 기업만이 살아남아서 독점적 지위를 얻게 될 것이다. 이와 같은 예는 교통기업뿐만 아니라 수도, 전기, 가스, 전화 등 대부분의 공익사업(public utilities)에서 볼 수 있으며, 이와 같이 자연적인 시장조건의 결과로 독점화되는 것을 자연독점(natural monopoly)이라 한다.

따라서 정부는 이와 같은 규모의 경제(economies of scale)를 이루고, 자연독점으로 인해 도태되어 피해를 보게 되는 기업을 사전에 보호하고, 또 살아남게 되는 기업이 공공성을 최대한 발휘하게 하고 이를 해치는 일이 없도록 하기 위해 어떤 형태로든지 규제를 하게 된다(규제된 독점: regulated monopoly).

교통수요는 사회·경제구조와 사회관습에 의하여 결정되는 것으로서 단기적으로 볼 때 매우 안정적이다.¹²⁾ 사회개혁, 악성인플레이션 등 급격한 변화가 없는 한 교통수요는 쉽게 변동되지 않는다. 그러나 이 말은 교통수요가 규칙적인 변동패턴을 갖는다는 것을 의미한다. 예를 들어 도시외곽도로는 하루에 아침, 저녁 두 번의 첨두현상을 보이며, 지방부 도로의 경우에는 매년 계절별로 일정한 교통량변화를 나타내는 규칙성이 있다.

경제 및 사회의 규모가 커지면 이에 수반되는 교통수요는 계획적, 체계적으로 관리될 필요가 있으며, 일반적으로 교통수요는 운임에 대해서 비탄력적이다.

2 교통수요의 탄력성

수요의 탄력성(elasticity of demand)은 가격의 변화율에 대한 수요량의 변화율의 비이다(여기서 수요량의 변화 change in quantities demanded는 수요의 변화 change in demand와는 다르다. 전자는 같은 수요곡선상에서의 변화이고, 후자는 가격 이외의 다른 요인에 의해 수요곡선 자체가 이동하는 것을 말한다). 일반적으로 상품이나 서비스는 가격이 상승하면 수요량이 감소하고, 반대로 가격이 하락하면 수요량이 증가한다([그림 19.4]).

여기서 상품의 수요량 q 를 가격 p 의 함수라고 한다면

$$q = f(p)$$

따라서 그림에서처럼 p 가 Δp 만큼 변하면 q 도 Δq 만큼 변한다. 그러므로 수요의 탄력성 η 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

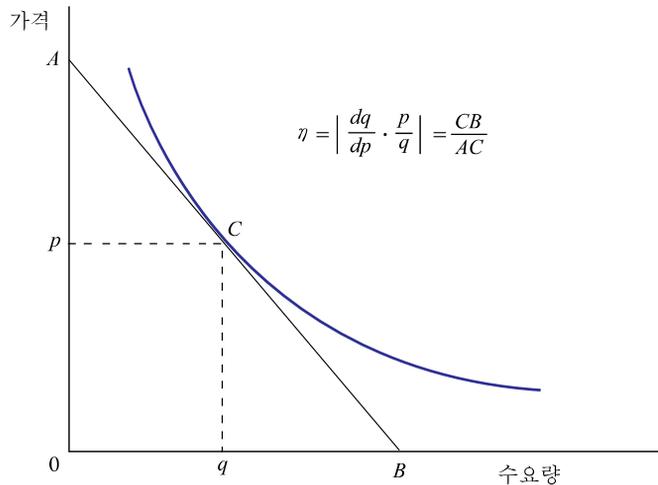
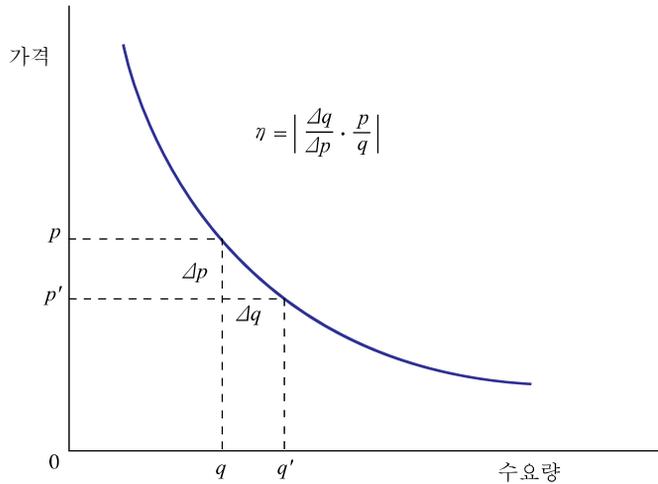
$$\eta = \left| \lim_{\Delta p \rightarrow 0} \frac{\Delta q/q}{\Delta p/p} \right| = \left| \frac{dq}{dp} \cdot \frac{p}{q} \right| \quad (19.3)$$

여기서 p 와 q 의 증가방향은 반대이므로 수요탄력성의 값은 원래 부의 값을 가지나 분석을 할 때는 정의 값으로 그 크기만을 비교하기 때문에 절댓값을 사용한다.

수요탄력성은 $\eta > 1$ 일 때 탄력적이라 하며, $\eta < 1$ 이면 비탄력적, $\eta = 1$ 이면 단위탄력적이라 한다.

상품 또는 서비스는 이들의 대체재가 많을수록 수요탄력성이 커진다. 즉 철도요금을 올리면 철도 이용자의 일부는 이에 대신하는 다른 교통수단으로 흡수된다. 이에 대신하는 교통수단이 많을수록 철도이용자를 많이 빼앗기게 되어 탄력성이 커진다. 또 대부분의 교통수단은 노선중간(link) 부분에서는 다른 대체교통수단이 많지 않아 탄력성이 작으나, 터미널 부근에서는 대체교통수단이 많아 탄력성이 커진다. 이것은 뒤에 설명하는 장소적 차별(差別)운임의 발생원인이 된다.

수송되는 상품이 생산재나 소비재나, 원제품이나 반제품이나, 중고품이나 신품이나, 또는 고가품



[그림 19.4] 수요의 탄력성

이나 염가품이냐에 따라 도착지 가격 중에서 운임이 차지하는 비율에 차이가 있다. 그러므로 운임의 변화에 따라 상품수요의 탄력성에 차이가 생기며, 이는 결과적으로 교통수요의 탄력성에 그대로 반영된다. 대체로 상품의 가격에서 운임이 차지하는 비율이 높을수록 운임의 변화에 대한 교통수요의 탄력성이 크다.

이와 유사한 경우로 통근자의 정기교통비가 가계지출에서 차지하는 비율은 매우 높다고 볼 수 있으므로 교통요금 인상으로 인한 이들의 저항은 매우 커지고, 따라서 교통수요의 탄력성은 커지게 된다. 하지만 이들이 출근을 해야 하고, 다른 대체재(교통수단)가 없을 경우에는 비탄력적이 된다.

일반적으로 사치재는 수요의 탄력성이 크며, 필요재는 탄력성이 적다. 그러나 이들 사치재, 필요재의 개념은 소득생활수준에 따라 달라진다. 즉, 옛날의 사치재가 오늘날에 와서는 필요재가 되는 예는 얼마든지 있다.

가까운 공급자는 비탄력적 수요를 가지며, 먼 공급자는 탄력적 수요를 가진다. 그래서 철도로 보면 두 가지 또는 그 이상의 운임체계를 사용하여 수익을 최대로 할 수 있다. 이러한 가격차등정책은 좋은 위치에 있는 기업에게 높은 운임을 매김으로써 좋은 위치의 지대(地賃)를 철도가 회수하게 한다.¹³⁾

일반적으로 수요의 탄력성은 단기적인 개념이다. 만약 장기적으로 본다면 수요의 탄력성은 단기에서보다 훨씬 크다. 예를 들어 전기요금에 인상이 되었을 때 소비자는 절전을 통해 절약은 하겠지만, 당장에는 그동안 사용하던 여러 가지 전기용품들을 대체에너지를 사용하는 기기들로 바꾸기는 어려울 것이다. 그러나 시간이 지날수록 그 대체 정도는 높아질 것이다. 그러므로 가격변화에 적응하는 시간이 길수록 탄력성이 커진다.

지금까지 언급한 수요의 가격탄력성은 어디까지나 가격을 제외한 다른 모든 조건이 동일하다는 전제를 가지고 있다. 그러나 실제 교통수단은 서로 다른 질의 서비스를 제공하므로 교통수요는 운임 뿐만 아니라 수송서비스의 질에도 영향을 받는다.

수송서비스의 질(이용자 측에서 본)은 운송시간, 야간배달, 서비스 후 즉시 가용성, 공급의 규칙성, 신뢰성, 조심성 있는 취급 및 손해배상 제도, 융통성, 저렴한 보관료, 안전성, 철도까지의 수집·분배비용으로 가늠된다.¹⁴⁾

어떤 서비스를 이용하느냐 하는 것은 지불하는 가격에 비해 그 서비스를 어떻게 평가하는가에 좌우된다. 이용자는 그가 받는 서비스 질의 가치와 이를 위해 지불하는 운임과의 차이, 즉 사용자 잉여(user's surplus)를 최대로 하려 한다.

3 교통수요의 탄력성과 운임이론

운임수입금을 R 이라 하면,

$$R = pq \tag{19.4}$$

이를 p 에 대해서 미분하면

$$\begin{aligned}
\frac{dR}{dp} &= q + p \cdot \frac{dq}{dp} \\
&= q \left(1 + \frac{p}{q} \cdot \frac{dq}{dp} \right) \\
&= q(1 - \eta)
\end{aligned}
\tag{19.5}$$

따라서

$$\eta > 1 \text{ 이면 } \frac{dR}{dp} < 0$$

$$\eta = 1 \text{ 이면 } \frac{dR}{dp} = 0$$

$$\eta < 1 \text{ 이면 } \frac{dR}{dp} > 0$$

여기서 수요의 탄력성이 1보다 크면 운임의 인상에 따라 수입액이 감소하고, 운임이 인하되면 반대로 수입액이 증가한다. 탄력성이 1일 때는 운임의 변화에 따른 수입액의 변화는 없으며, 탄력성이 1보다 작을 때는 운임이 인상될 때 수입액은 증가하고, 운임이 인하되면 수입액은 감소한다. 그러므로 철도, 해운 등에서는 수요의 탄력성이 큰 화물에는 낮은 운임을 부과하고, 반대로 수요탄력성이 낮은 화물에는 높은 운임을 부과하는 차별운임제를 채택한다. 일반적으로 여객수송이 대물수송에 비해 수요탄력성이 작다.

한 상품의 가격변화가 다른 상품의 수요의 변화에 영향을 미칠 수 있다. 이와 같이 다른 상품의 가격변화에 대한 수요의 반응 정도를 수요의 교차탄력성(cross elasticity of demand)이라 하며 다음과 같이 정의된다.

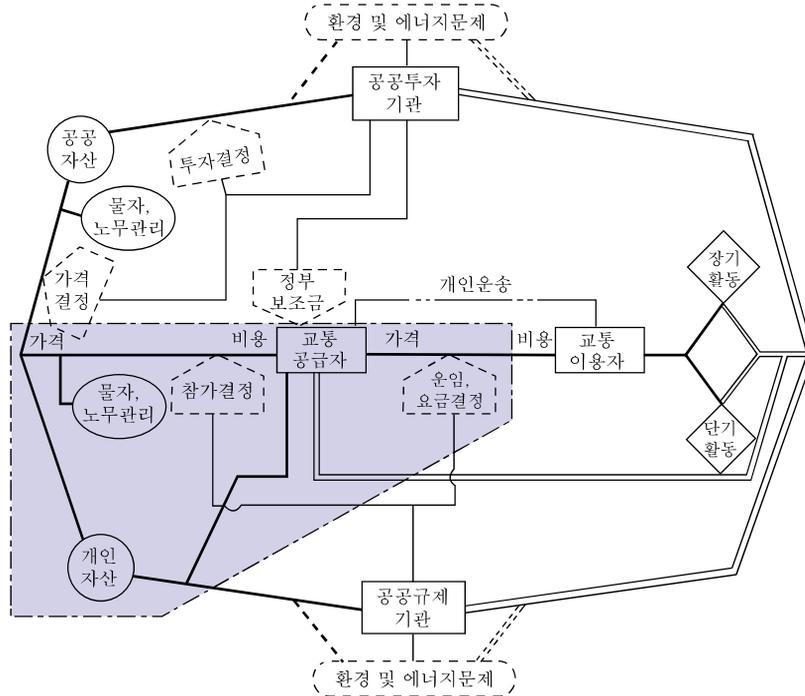
$$\text{수요의 교차탄력성}(\eta_{xy}) = \frac{X\text{재의 수요변화율}}{Y\text{재의 가격변화율}} = \frac{dq_x \cdot p_y}{dp_y \cdot q_x} \tag{19.6}$$

교차탄력성의 값이 정이라면 그것은 Y재의 가격상승이 X재의 수요를 증대시킨다는 의미이므로 두 상품은 경쟁적인 대체재이다. 반면에 부의 값을 가진다면 Y재의 가격상승이 X재의 수요를 감소시킨다는 의미로 두 상품은 협동적인 보완재이다. 이 값이 0이라는 의미는 두 상품이 독립관계에 있다는 것을 뜻한다.

이와 같은 이론을 교통에도 적용할 수 있다. 예를 들어 두 도시 A, B를 연결하는 거의 동일한 조건의 두 철도 R과 S가 서로 경쟁관계에 있을 때 다른 조건은 일정한데 R만이 운임을 인상한다면 R을 이용하던 여객이나 화물이 S로 옮겨가므로 S의 운송량이 증가한다. 이 경우 교차탄력성은 정이다. 다른 예로서 도시 A에서 C로 가는데 먼저 철도 R을 이용하여 B까지 가고, 그다음 B에서 C까지 버스 S로 가야 할 경우, R과 S는 보완관계에 있다. 이때 R의 운임을 인상하면 R의 운송량이 감소함과 동시에 S의 운송량도 따라서 감소한다. 이 경우 교차탄력성은 부이다.

19.3 교통공급과 운임결정(운송사업 관리)

교통경제의 영역에서 교통공급과 운임이 관련되는 부분은 [그림 19.5]와 같이 나타낼 수 있다.



[그림 19.5] 교통공급 및 운임결정 영역

19.3.1 교통비용의 의미

교통공급은 비용특성, 비용산정 기법, 비용수준 등과 같은 비용의 측면에서 분석될 수 있다. 비용을 분석하는 이유를 교통에 관련된 당사자의 입장에서 고찰하면 다음과 같다.

1 운송사업자(교통기업)

교통서비스의 생산비용은 관리인, 노무관리자, 안전관리자 등을 확보하는 데 필요한 것으로서 이들을 채용할 때 가장 저렴한 비용으로 최대의 생산성을 올릴 수 있도록 해야 한다. 또한 노동력, 자동화 장비 등과 같은 생산요소들을 가장 효율적으로 조합시키도록 해야 하고(예를 들어 노동력을 많이 사용할 것인지, 자동화 장비를 사용할 것인지를 결정), 집배, 노선운송(line-haul transport), 운임청구 및 수급과 같은 수송활동의 요소들을 효율적으로 관리해야 한다(예를 들어 많은 차량대수로 운행시간 간격을 좁힐지, 아니면 적은 차량대수로 운행시간 간격을 늘릴지를 결정).

교통기업은 운임결정 및 투자결정을 위해 교통서비스의 비용을 알아야 한다. 수송시장에서의 비용뿐만 아니라 수송시장 그룹에서의 비용도 알아야 한다. 또 사업의 합병여부와 완전포기여부를 결

정하기 위해서는 전체교통서비스의 비용도 알아야 한다. 뿐만 아니라 규모의 경제 또는 비경제가 존재하는지를 알아야 할 필요가 있다. 합병이 시설의 중복을 피하기 위한 것이라면, 어느 특정시장의 비용이 전체비용에 미치는 효과가 파악되어야 한다.

2 교통이용자

운임의 결정은 교통서비스 제공자와 이용자 간의 협상으로 이루어진다. 그러기 위해서 이용자는 교통기업의 운영을 잘 알아야 하며, 교통기업의 관점에서 제시하는 운임안을 평가할 수 있어야 한다. 운송업자와 하주(荷主)의 협상이 결렬되면 하주는 조정기관에 중재를 호소해야 한다. 하주가 운임조정을 신청하기 위해서는 운임의 기초가 되는 비용에 대하여 잘 알아야만 조정기관에 운송업자의 근거를 반박하고 자기주장을 증명할 수 있다.

만약 교통서비스 이용자가 개인적인 수송수단을 보유하려면 운송비용을 잘 통제할 수 있어야 하며, 그렇지 않고 개인적인 수송수단을 세내어 이용하려면 그 비용을 신중히 분석할 필요가 있다.

3 교통조정자

조정기관은 운임의 타당성을 결정하기 위해서, 또는 교통수단 간의 경쟁이 있는 경우에는 비용을 비교하거나 운임차별을 조사하기 위해서 어느 특정시장에서의 비용을 평가할 수 있어야 한다. 대부분의 경우 운송업자와 하주의 비용조사에는 차이가 크다. 그래서 만약 조정기관이 독자적인 비용분석을 할 수 없다면, 적어도 두 당사자가 행한 비용분석에서 잘잘못은 찾아낼 수 있어야 한다.

조정기관은 서비스를 포기하는 경우와 운임구조를 개조하는 것과 같이 시장그룹에 관한 결정을 해야 한다. 또 그와 같은 경우, 비용에 관한 증거와 반증을 평가할 수 있어야 한다.

또 조정기관은 교통수단 간의 협조운영을 평가할 뿐만 아니라 합병과 완전포기계획에 관한 결정을 내려야 한다. 이 경우도 역시 당사자의 입장은 서로 반대이므로 이를 조정하거나 또는 독자적인 결정을 내려야 한다.

4 공공투자기관

교통시설에 대한 투자로 얻을 수 있는 이득이란 그 시설이용자의 운행비용을 줄이는 것이다. 결국 공공시설 투자결정을 위한 편익/비용 분석을 하기 위해서는 수송비용에 관해서 잘 알아야 하는데, 이는 현재의 비용뿐만 아니라 시설개선과 같은 변화된 조건에서의 예상비용까지도 포함한다. 이와 같은 자료는 공공시설의 사용료를 평가하는 데도 사용된다.

교통기관에 대한 직접적인 재정지원은 ‘비용 추가’와 같은 효과가 있다. 분명히 재정지원의 규모는 통제되므로 운송업자의 운영비용, 특히 어느 특정시장의 비용과 시장그룹의 비용에 관해서 잘 알아야 할 필요가 있다. 또 교통서비스 생산비용을 조정하는 데 있어서 운송업자의 관리성과를 평가하는 어떤 방법이 필요할 것이다.

5 공공정책 평가

결국 수송비용은 효율성이란 목표(자원배분)에 따라 교통정책을 평가하는 가장 기본적인 것이다. 그 수송체계가 효율 외적인 목표(환경보존, 에너지 절약 등)를 수립하게 된다면 그 수송체계로부터 그 목표를 달성하는 것이 비용면에서 효과적이나 아니냐에 관한 연구가 필요하다.

19.3.2 교통수단의 비용특성

교통수단은 크게 철도, 도로, 항공, 해운 및 관로(管路)교통으로 나눌 수 있다. 이들은 속도나 용량, 적응성(adaptability), 투자비용 등 여러 면에서 큰 차이가 있다.

교통설비는 통로시설, 터미널시설과 같은 기반시설(basic facilities)과 차량, 선박 등과 같은 운영장비(operating equipment)로 나뉘며, 기반시설은 운영장비에 비해 수명이 길고 적응성이 적다.

기반시설에 대한 투자액의 대부분은 매몰(sunk)되거나 또는 단기가변비용을 초과하는 수입으로부터 상환이 가능하다. 터미널건물을 제외한 기반시설은 다른 용도로 전용되기도 어렵고, 또 투자비만한 금액으로 팔리지도 않는다. 반면에 운영장비에 대한 투자는 그것이 다른 곳으로 전용도 되고, 또 팔릴 수도 있어 상환이 가능하다. 이와 같은 차이로 인해서 기반시설과 운영장비의 소유주는 서로 다를 수도 있다. 즉 기반시설은 공공투자에 의해서 마련되고, 운영장비는 개인이 소유하는 경우가 많다. 기반시설은 두 가지 용량단위, 즉 km당 용량과 노선길이가 있다. km당 용량은 속도가 증가할수록 커진다.¹⁵⁾

1 비용함수

어느 교통수단의 톤-km당 비용은 터미널비용과 노선수송비용(line haul cost)의 합으로 나타난다. 또 이 비용들은 모두 수송량과 노선길이의 함수이다. 터미널비용은 노선구간에 걸쳐 분산시켜 톤-km당 터미널비용(C_t)으로 나타낼 수 있다. 즉 수송량 Q 톤을 처리할 때의 톤당 터미널비용을 $f_1(Q)$ 라 하고 노선길이를 L 이라 할 때, $C_t = f_1(Q)/L$ 이다. 그러나 톤-km당 노선수송비용(C_h)과 수송량 또는 노선길이와의 관계는 정립된 기준은 없으나 $C_h = f_2(Q, L)$ 로 표시할 수 있다. 따라서 톤-km당 총비용은 $C = f_1(Q)/L + f_2(Q, L)$ 로 나타낼 수 있다.

다음은 교통수단별 비용특성, 특히 도로부문을 중점적으로 설명한다.

철도의 비용(톤-km당)은 수송량이 적으면 커지고, 노선길이가 짧으면 커진다. 이용자의 운행비용을 포함한 도로의 비용분석은 유달리 까다롭다. 더욱 어려운 것은 도로를 건설하는 사람과 이용자가 다르다는 사실이다.

완전한 비용분석을 하기 위해서는 다음 사항을 알아야 한다.

- ① 도로비용(투자액에 대한 이자와 유지관리비)과 노반 및 노면상태와의 관계
- ② 각 용량에서 차량당(또는 톤-km당) 비용과 (i) 이용차량대수, (ii) 차량중량, (iii) 운행속도와의 관계

- ③ 톤-km당 차량운행비용과 (i) 차량중량, (ii) 운행속도, (iii) 노선길이, (iv) 노면상태(차량유지 관리 및 감가상각에 영향을 주므로)의 관계
- ④ 속도 및 배달시간의 정확성, 수송 중의 손상 등으로 인한 비용

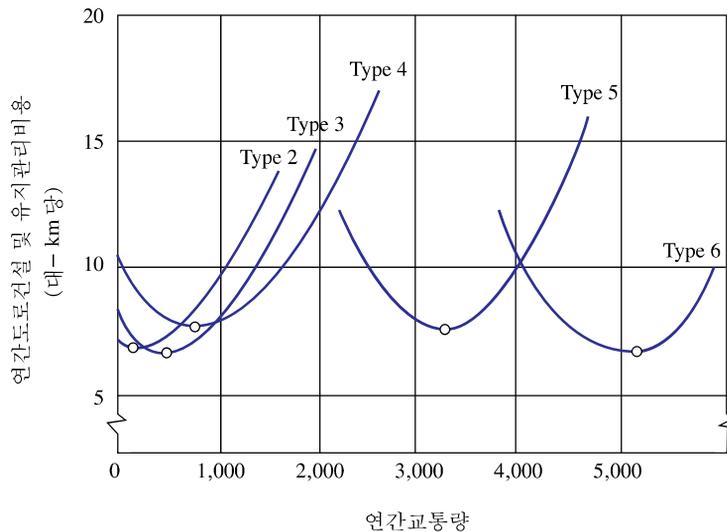
[그림 19.6]은 각종 도로상태에서 교통량에 따른 연간유지관리 및 건설비용(대-km당)을 나타낸 것이다. 이 그림은 중량이 같은 차량이 운행한다고 가정한 것이며, 이 그림에서 각 도로는 비용을 최소로 하는 최적교통량이 존재하며 이때의 비용은 각 도로에서 거의 동일하다는 것을 알 수 있다. 최적교통량보다 적은 교통량에서의 비용이 최적교통량 때보다 큰 이유는 차량당 도로건설비용 분담금이 크기 때문이며, 교통량이 클 때의 비용이 최적교통량 때보다 큰 이유는 차량당 도로유지관리 비용이 커지기 때문이다. 중차량은 특히 등급이 낮은 도로를 심하게 손상시키지만, 화물을 기준으로 한 톤-km당 운행비용은 매우 적어진다.

같은 중량의 차량이 같은 교통량으로 도로를 이용할 때, 자갈 및 토사도로와 같은 등급이 낮은 도로는 장기적으로 볼 때 도로건설 및 유지관리비용이 포장된 도로에 비해 훨씬 크다. 포장된 고급 도로는 차량의 중량과 교통량이 증가하더라도 장기적인 도로건설 및 유지관리비용은 그다지 증가하지 않는다.

승용차의 대-km당 운행비용으로 볼 때, 포장도로에 비해 자갈도로는 25%, 토사도로는 60% 더 높으며, 트럭이나 버스의 운행비용은 자갈도로는 50%, 토사도로는 100%가 포장도로에 비해 더 높다.¹⁵⁾ 차량의 감가상각비용도 마찬가지로 저급도로가 고급도로에 비해 높다.

어떤 크기의 차량이든 톤-km당 또는 대-km당 비용은 운행노선의 길이가 길수록 적어진다. 또 대량화물로 실어 나르는 것이 소량으로 여러 번 운행하는 것보다 훨씬 비용이 적게 든다.

총 노선수송비용(total line-haul cost) 추정의 마지막 과정은 도로비용과 차량운행비용을 합하고



[그림 19.6] 도로종류 및 교통량과 도로비용

자료: 참고문헌(16)

이것과 각종 도로에 대한 교통량, 차량의 중량 및 속도와의 관계를 파악하는 것이다.

승객 인-km당 항공교통비용은 비행장 및 항공교통관제시설과 같은 기반시설뿐만 아니라 비행기 운항비용을 포함한다. 기반시설은 일반적으로 국가에서 마련하며 이중 일부비용은 이용자 부담금으로 충당한다.

항공사의 운영비용은 착륙요금(landing fee) 및 터미널시설 임대료에 비하면 매우 적은 편이다. 승객 인-km 또는 톤-km당 항공사의 비용은 비행기의 크기, 운항횟수 및 비행거리(stage length)에 따라 달라진다. 비행기가 일단 비행고도에 도달하면 km당 비용이 일정해지므로 비행거리가 길수록 비용(km당)은 적어진다. 그러므로 규모가 작은 항공사는 경제성이 없다.

연안해운의 기반시설비용은 일반적으로 낮은 편이며, 이것도 국가에서 제공하는 경우가 많다. 해운은 일반적으로 속도가 느리고 하역시간이 많이 걸리므로(원유나 광석은 예외) 서비스의 질이 낮으나 그 대신 운영비용이 적게 든다.

2 교통시스템

교통수단의 운행노선은 교통시스템의 일부분이다. 그러므로 교통투자여부를 검토하기 위해서는 그 수단의 비용, 용량 등과 같이 단순한 기준만을 사용해서는 안 된다. 노선이 다르면 교통의 종류도 다르고 지형도 다르며 운송량도 달라진다. 결국 각 교통수단은 교통시스템 내의 고유한 영역을 확보하고 있다. 그러나 한 교통수단이 적정하다고 해서 교통시스템 전체의 효율이 적정한 것은 아니다. 더군다나 시스템이 새로 계획되는 것이 아니라 대부분의 경우 어떤 교통시설은 이미 존재하여 운영되고 있다.

한 지역 내의 교통시스템은 몇 개의 주간선(main route)이 있으며, 여기서 여러 방향으로 지선(feeder)이 갈라진다. 주간선은 일반적으로 용량이 크며 평균노선길이가 길다. 또 주간선은 한 교통수단에 의해 운영되며(특히 교통량이 많은 경우), 지선은 여러 개의 다른 교통수단이 운영된다.

대부분의 지역에는 교통시설이 있기 때문에 투자를 계획할 때는 우선 기존용량을 확충하고 노선을 연장할 수 있는가를 검토해야 한다. 기반시설로 사용 가능한 시설이 있다면 추가투자비용은 자본비용(감가상각과 이자)과 유지관리비만 있으면 된다(기존투자에서 부채가 남아 있으면 현재의 투자는 부적절하다). 그러나 기존교통수단의 한계비용이 대체교통수단의 장기한계비용을 초과할 정도로 실제 교통량이 적거나 대체교통수단의 기술발전이 현저하다면 기존교통수단을 다른 것으로 대체하는 것이 좋다. 어떤 연구에 의하면 경철도의 기반시설을 개수하고 장비를 운영하는 데 드는 톤-km당 장기한계비용은 이와 평행하는 기준도로를 유지관리하면서 트럭이 운행하는 데 드는 장기한계비용보다 크다.¹⁵⁾

지선의 교통수단을 선택할 때 톤-km당 비용이 가장 적은 것이 반드시 가장 좋은 수단은 아니다. 왜냐하면 주간선과 지선의 교통수단이 서로 다르면 화물을 옮겨 싣는 데 비용이 많이 들기 때문이다. 같은 이유로 해서 교통량이 적은 지선도로와 여러 곳에서 연결되는 주간선이 철도이면 오히려 비효율적일 수가 있다.

교통시스템을 계획할 때 또 한 가지 고려해야 할 사항은 소득 수준의 향상이다. 소득 수준이 높아

지면 수송물품의 대부분은 제조상품이다. 따라서 생산자는 재고/판매량의 비를 줄이기 위하여 생산 시설을 시장 가까이 두고 신속한 배달을 하도록 한다. 철도운임이 낮은 데도 불구하고 상품수송에 도로를 많이 이용하는 것은 이 때문이다.

항상 그런 것은 아니지만 개발의 초기단계에서는 도로시스템이 국가수송수요를 만족시키는 가장 효율적인 수단이다. 이때 적은 교통량을 처리하는 데 적합한 자갈도로를 새로이 건설하더라도 철도보다는 훨씬 비용이 적게 든다. 이 경우 도로의 용량은 교통량의 증가에 따라 증가시킬 수 있으며, 투자에 대한 회수의 불확실성도 철도보다 적다.

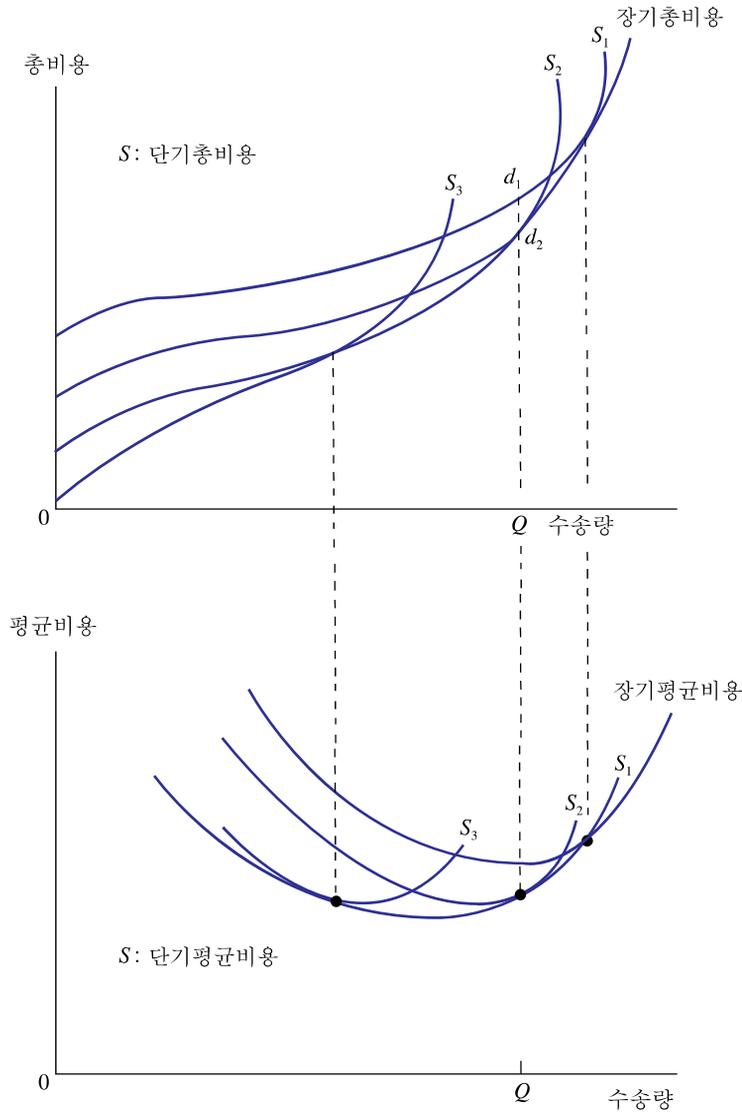
19.3.3 비용 산정

운수사업의 비용을 산정하기란 매우 어렵다. 그 이유는 비용이란 어떤 비용을 말하는가 하는 개념상의 문제도 있고, 비용을 추정하는 과정의 어려움도 있고, 또 하주와 운송업자가 부담하는 비용이 서로 다를 뿐만 아니라 사회비용은 또 별도로기 때문이다.¹⁷⁾

1 비용의 정의

비용을 생각할 때는 고정비용(fixed cost), 가변비용(variable cost)과 총비용(total cost)을 구분해야 하고, 한계비용과 평균비용을 구별해야 할 필요가 있다. 총비용은 고정비용과 가변비용을 합한 것이며, 가변비용이란 주어진 수송설비와 수송장비에 대해서 수송량에 따라 변하는 비용으로서 노임, 재료, 에너지 등이 있다. 반면 고정비용은 수송량에 관계없는 비용으로서 수송설비와 수송장비에 대한 임대료와 이자, 관리비용 등을 말한다. 이와 같은 각 비용의 수송량 한 단위에 대한 비용을 평균비용이라 하며, 또 수송량 한 단위가 추가됨에 따라 부가되는 비용을 한계비용이라 한다. 만약 평균비용이 작아지면 한계비용은 평균비용보다 작으며, 평균비용이 증가하면 한계비용은 평균비용보다 크다. 이와 같은 비용은 고려하는 대상기간에 따라 그 가변성이 달라진다. 즉, 고려하는 대상기간이 길면 고정비용도 가변적이며, 결국 모든 비용은 장기적으로 볼 때는 가변적이다. 장기비용(long-run cost)의 중요성은 장래에 있어 기존사업을 확대하거나 축소하기 위해 또는 새로운 사업을 시작하기 위해 계획을 수립하는 데 필요한 비용이므로, 장기란 결국 계획기간(planning horizon)이라 할 수 있다. 운수사업에서는 예상되는 수송량에 대하여 총비용을 최소화하는 사업규모를 결정하고, 일단 사업규모가 결정되면 사업의 운영에 실제로 중요한 것은 단기비용(short-run cost)이다. 그러므로 장기비용곡선은 각 수송량에 대해 적정화된 사업규모에서 최소 단기비용을 나타내는 점들의 집합이다. [그림 19.7]에서 볼 수 있는 바와 같이 Q 의 수송량을 처리하고자 할 때 S_1 의 규모로 사업을 운영하면 d_1 의 단기총비용이 들지만 S_2 의 규모로 사업을 운영하면 단기총비용은 d_2 이다. S_2 가 Q 를 처리하기 위한 적정 사업규모라고 한다면(즉, Q 에 대한 비용이 d_2 보다 적은 경우가 결코 없는) d_2 는 Q 를 처리하기 위한 장기(다시 말하면 규모 적정화 후) 최소비용과 같다.

비용곡선은 하나의 상품을 생산하는 기업에 관한 것이므로 산출물(output)의 단위 또한 한 가지이다. 그러나 운수회사는 다양한 서비스를 제공하므로 산출물의 단위는 여러 가지이다. 예를 들어 철



[그림 19.7] 장·단기총비용 및 평균비용

도산업에서 화차-km 단위가 톤-km 단위보다 적절하기 때문에 더욱 많이 사용된다. 뿐만 아니라 취급하는 상품도 다양하다. 예를 들어 상하기 쉬운 채소의 톤-km당(또는 화차-km당) 운임은 석탄의 운임과는 큰 차이가 있을 것이다.

만약 공공수송정책의 목표가 수송수단 상호 간에 장기적인 조화를 추구하는 것이라면, 여러 가지 수송수단의 상대적인 비용을 비교할 때 사용되는 비용은 장기한계비용이다. 이 비용은 운송업자(carrier)가 그의 자본을 어느 정도 온전하게 유지하면서 사업을 지속할 때 당면하게 되는 절대최소 비용으로서 운송업자의 실지출비용(out-of-pocket cost)이다. 이 비용은 사회적 가치를 나타내기 때문에 여러 수송수단의 고유한 장점을 반영하며, 이 비용을 이용하여 화물수송을 여러 수송기관에 개략적이며 합리적으로 할당할 수 있다.

2 비용 산정

실지출비용을 산정하기란 매우 어렵다. 운송사업은 여러 가지의 서비스를 생산하고, 또 여러 가지 공통비용(common cost)과 결합비용(joint cost)을 갖기 때문에 특정비용을 산정하는 데는 어느 정도 임의로 하지 않을 수 없다. 특히 고정비용과 공통비용 부분이 비교적 크고, 다양한 서비스를 제공하는 철도에서 더욱 그러하다. 미국의 ICC(Interstate Commerce Commission)는 광범위하고 쉽게 사용할 수 있는 실지출비용을 산정한 바 있다.¹⁰⁾ 이 산정자료에 의하면 철도의 장기비용을 실지출비용과 고정비용으로 나누고, 실지출비용은 화물취급비용, 임대료, 세금 등을 포함한 총비용 중에서 수송량의 변화에 따라 변하는 가변비용(variable cost)을 말하며, 총비용 중에서 그 나머지는 고정비용이다. 실지출비용은 단기가변비용보다 조금 많은 편이며, 장기한계비용과는 매우 비슷하고, 또 이것은 총비용의 약 80%를 점한다고 했다. 그러나 이와 같은 ICC의 산정에는 논리적으로나 실용적인 면에서 많은 오류가 있다고 여러 사람들이 지적한 바 있다.

반면에 Meyer, Peck, Stenason 및 Zwick 같은 학자들은 이중회귀분석기법을 이용하여 철도의 장기한계비용을 산정했다. 그러나 어느 방법을 사용하여 비용을 산정하든지 가장 어려운 문제는 서비스를 생산하는 시점과 그로 인해 야기되는 유지관리비지출의 시점이 차이가 나기 때문에 생산과 거기에 해당하는 비용의 관계를 명확히 밝힐 수 없다는 것이다. 비용 산정의 더 자세한 내용은 본 과정의 범위를 벗어나므로 생략한다.

3 사회비용

수송의 사회비용은 하주와 운송업자의 관점에서 각각 달리 평가된다. 하주의 입장에서 본 비용은 집배비용을 포함한 터미널비용, 운임 및 보관비용 등이다. 운송업자에게 부과되는 비용은 운송에 관련된 비용과 회사를 유지하기 위한 정상이윤이다.

사회비용이란 상품이 출발지에서부터 목적지까지 수송되는 데 필요한 상품취급, 집배, 노선수송(line-haul), 재고관리 등에 소모되는 자원비용을 말한다. 운송업자 비용은 다음과 같은 이유로 해서 자원비용을 모두 망라하지 않는다. 즉 첫째, 하주나 수하자가 직접 상품을 취급하고 집배하는 경우가 많고 둘째, 수송로부지는 보조를 받거나 세제상의 혜택을 받기 때문에 운송업자 부담비용은 그만큼 적어지며 셋째, 운송업자는 일반적으로 운송화물의 재고관리비용을 부담하지 않아도 된다. 그러나 운임과 비용과는 직접적인 관계가 없기 때문에 하주부담비용은 대개 사회비용과 구별된다.

수송의 사회비용은 3가지 구성요소, 즉 터미널비용, 노선수송비용(line-haul cost), 재고관리비용으로 세분할 수 있다. 터미널비용은 화물의 최초 출발지에서부터 터미널까지 및 터미널에서부터 최종목적지까지의 집배비용, 수송차량에 싣고 내리는 데 드는 비용, 그리고 비용을 청구하고 수취하는 데 드는 비용을 말한다. 노선수송비용은 출발지와 목적지 사이에 차량을 운행하는 데 드는 비용과 차량의 유지관리비용, 수송로를 건설하고 유지관리하는 데 드는 비용 및 기타 overhead의 할당분이다. 재고관리비용은 수송 중인 화물이 동산의 형태이므로 적하시간과 적하규모 등으로 인해서 추가적으로 발생하는 비용을 말한다. 이러한 비용은 수송수단의 종류와 적하의 형태에 따라 변한다. 비용은 특히 상품의 밀도, 일정 시간 동안의 적하능력, 상품의 성질(부서지기 쉬운 또는 상하기 쉬운

정도)에 민감하므로 살화물(bulk cargo)과 고가화물의 노선수송 및 터미널비용은 같은 수송수단에서 서로 차이가 난다. 그러므로 이들 상품의 종류에 따라 수송비용은 달리 산정되어야 한다.

상품을 수송하는 데 있어서 각 수송수단이 갖는 고유의 장점을 최대한 이용하기 위해서는 수송되는 상품을 3가지 그룹으로 나누어 취급한다. 즉, (i) 조밀하고 가치가 낮으며 분량이 많고 부패성이 적으며 부서지는 성질이 없는 살화물(원유, 곡물, 석탄, 골재 등), (ii) 밀도가 적고 가치가 매우 높으며, 상품에 따라서는 부서지기 쉬운 성질이 있는 제조상품, (iii) 가치가 매우 크며 분량이 적고, 어떤 상품은 부패성과 부서지기 쉬운 성질이 매우 큰 상품(전자제품, 생화, 고급의상 등)이다.

이와 같은 상품의 특성에 따라 요구되는 수송서비스의 종류도 다르다. 가장 기본적인 서비스의 종류는 (i) 밀도, 즉 부피당 무게, (ii) 운송량, 즉 단위시간당 소요 수송서비스량, (iii) 부피당 생산물의 가격 등과 같은 것이 있다. 이외에도 어떤 생산물은 부패성, 부서지기 쉬운 성질, 휘발성 등과 같은 특성을 가지고 있으므로 이에 따라 수송서비스가 달라진다. 운송비용(또는 운임)은 유통시스템 내에서 이와 같은 각종 특성을 가진 상품의 흐름이 갖는 실상을 반영하게 되며, 이 상대적인 비용이 수송수단선택의 기본적인 결정요인이 되므로 결국 상품의 특성에 따라 수송수단이 결정된다고 할 수 있다. 또 이와 같은 각 수단 간의 상대적인 비용 비교는 효율적인 공공운송정책 수립의 기본적인 요소이다.

그런 수송수단의 선택과 공공정책을 입안하는 데는 전적으로 수송비용만 고려하는 것은 아니다. 각 수송수단이 갖는 수송서비스의 마케팅과 서비스능력도 중요한 변수이다. 트럭이 철도보다 인기가 있는 것은 운송비용의 차이 때문이 아니라 중앙집중적이며 관료적인 철도운영에 비해 분산운영과 연합된 서비스 마케팅 기구를 가진 트럭이 더욱 탄력적으로 하주의 요구에 부응할 수가 있기 때문이다.¹⁸⁾

4 고가상품의 수송비용

철도의 터미널운영은 트럭터미널보다 훨씬 더 복잡하므로 살화물이 아닌 모든 화물의 터미널비용은 철도가 훨씬 비싼 편이다. 기본적인 트럭터미널 운영, 즉 집배, 화물취급, 비용청구 및 수취의 행위는 철도의 운영과 비슷하다. 그러나 트럭에 실린 화물은 목적지에 직접 가는 대신에 철도화물은 출발지에서 중량을 재고, 분류를 하며, 해당되는 차량에 옮겨 실은 후에 목적지에 가서도 비슷한 과정을 거친다. 그러므로 철도에서 화차에 화물을 가득 싣는다면 철도의 터미널비용을 트럭비용보다 낮출 수 있을지 모르지만, 대략 30톤 이하의 수송화물에 대해서는 트럭터미널비용이 철도터미널비용보다 적다.¹⁷⁾

살화물을 장거리수송할 때의 노선수송비용은 철도가 트럭보다 훨씬 적다. 살화물이 아니라 트럭의 최대용량과 같은 20~30톤을 실어 나르더라도 노선수송비용은 항상 철도가 트럭보다 적다. 일반적으로 철도가 트럭에 비해 적은 비용을 갖는 한계점은 480 km 정도 이상이라고 알려지고 있다.¹⁴⁾

트럭은 철도에 비해 재고관리의 이점을 가지고 있다. 철도는 운영특성상 트럭보다 더 많은 재고를 가지지 않을 수 없어 재고관리비용이 트럭보다 크다. 재고관리비용은 적하규모와 적하시간에 좌우된다. 적정화차용량은 트럭용량의 약 2배가 되므로 하주가 철도를 이용할 경우 더 많은 재고를 가지

지 않을 수 없다. 또 철도의 화물처리가 트럭보다 훨씬 느리므로 하주는 더 많은 재고를 가지고 있어야 한다. 결과적으로 철도수송에서 재고의 증가는 재고비용의 증가를 가져오게 된다. 또 고가품의 재고관리비용은 매우 크며, 반대로 염가품의 재고관리비용은 거의 무시할 수 있을 정도로 적다. 따라서 고가품을 철도로 수송할 경우 재고관리비용은 명목상의 철도비용을 적어도 50% 이상 증가시킨다.

철도 혹은 트럭비용이 다른 사회비용을 감안하여 더 조정될 필요가 있는가 하는 논란이 있다. 이 쟁점은 다음 두 가지 때문에 야기된다. 즉, (i) 철도부지가 지방재산세의 대상이 되는가, (ii) 트럭이 도로건설비용에 대한 그들의 몫을 부담해야 하는가이다. 첫 번째 쟁점은 철도가 국유사업이며 그 부지 또한 국유지이므로 과세대상에서 제외되지만, 다른 나라처럼 개인사업이라면 당연히 과세대상이 되며 그 세금은 부지 유지관리비와 다를 바 없이 사회비용에 포함된다. 두 번째 쟁점인 도로부지는 공공기관에서 건설한 것이며 공익을 위한 것이므로 재산세의 대상이 될 수 없다. 그러나 트럭이 도로건설 및 유지관리비용의 일부를 부담해야 하는 것은 당연하다. 트럭과 개인승용차가 같이 이용하는 도로시설의 비용부담은 그 차량이 요구하는 설계표준(design standards)에 비례해서 건설비용을 할당하고, 또 그 차량이 도로를 마모시킨 정도에 비례해서 유지관리비용을 할당하는 것이 합리적이다.

앞에서도 설명한 것처럼 트럭터미널비용이 상대적으로 낮고, 철도 노선수송비용이 상대적으로 낮으므로 이 두 가지 운용양식을 결합하면 경제적인 이점을 얻을 수 있다. piggyback은 바로 이와 같은 운용방법을 채택한 것으로서 트럭의 트레일러를 철도의 무개차에 실어(Trailer on Flat Car, TOFC) 수송하는 것으로 철도의 장점과 도로의 장점을 취합한 것이다. 이 piggyback 방식은 대부분의 고가상품을 중간 정도의 적하규모로 중간 정도의 거리를 운송하는 데 확실한 비용절감을 가져온다.

5 살(撒)화물 수송비용

살화물(bulk cargo)은 일반적으로 가치가 작으므로 대량으로 수송된다. 그러므로 살화물을 수송하는 데 적합한 교통수단의 중요한 특성은 해운, 철도, 관로 등과 같이 싼 단위비용으로 매우 큰 규모의 적하를 처리할 수 있는 능력이 있어야 한다.

해운의 종류는 여러 가지가 있으나 우리나라에서는 철도와 경쟁의 입장을 보이는 연안해운을 중요시한다. 다른 상품과 마찬가지로 해운에 의한 살화물수송의 사회비용도 터미널비용, 노선수송비용, 재고관리비용을 포함한다. 터미널비용은 적하되는 화물의 종류와 최초 출발점(또는 최종도착점)에 관한 해운터미널(항구)의 위치에 따라 변한다. 화물의 최초 출발지(또는 최종목적지)가 내륙이면 해운터미널까지(또는 부터)의 집배는 철도에 의존하는 수가 많다. 대부분의 해운터미널은 한 가지 화물만을 취급하게끔 특성화된다. 어떤 터미널은 펌프식으로 원유나 곡물을 취급하도록 설비되어 있으며, 석탄 및 광석을 취급하는 곳은 대형 삽 및 컨베이어 벨트로, 목재 및 원목은 크레인으로, 포장화물도 크레인으로 처리하도록 설비되어 있다. 그러므로 비용은 적하량이나 기계화의 정도 등에 따라 달라진다. 그러나 일반적으로 기계화가 많이 될수록 노임과 선박의 정박 및 운용비용을 줄

이게 되므로 터미널비용은 작아진다. 그래서 해운은 신속히 하역시키는 특수설비가 있고, 또 저급 및 중급가치의 화물을 장거리수송할 때의 낮은 노선수송비용은 높은 터미널비용을 상쇄시킬 수 있으므로 살화물을 수송하는 데 가장 효율적이라 할 수 있다.

일반적으로 수로(waterway) 개발은 정부에서 하고 운송자에게는 무료로 이용하게 함으로써 명목상의 비용과 실제 사회비용은 차이가 난다. 그러나 미국에서는 운송자가 무료로 수로를 이용하게 함으로써 부당하게 철도와의 경쟁력을 강화시킬 뿐만 아니라 정부투자의 정당성에도 문제가 있다는 것을 지적하는 사람이 많다.¹⁷⁾

살화물은 가치가 낮은 상품이므로 재고관리비용이 그다지 중요하지 않다. 예를 들어 목포에서 인천까지 곡물을 수송하는 데 철도를 이용하면 10시간, 바지선으로 수송하면 40시간이 걸리고, 곡물 1톤당 1시간 지체비용이 0.5원, 두 지점 간의 거리를 다 같이 300 km라고 한다면, 재고비용의 차이는 $(40-10) \times 0.5 / 300 = 0.05$ 원/톤·km로 수송비용에 비해 매우 작은 값이다.

살화물을 철도로 수송할 때의 비용은 사용되는 화차의 용량과 단위열차당 수송능력에 크게 좌우된다. 예를 들어 70톤을 싣는 화차를 이용할 때의 톤·km당 수송비용(터미널비용, 노선수송비용, 재고관리비용 포함)은 40톤 화차를 이용할 때에 비해 약 75%밖에 되지 않는다. 또 많은 화차를 연결하여 단위열차당 수송능력을 높이면(예를 들어 100톤 화차 100대를 연결한 열차) 바지선수송과 경쟁할 정도까지 수송비를 줄일 수 있다.

관료수송은 원유, 천연가스, 석유뿐만 아니라 석탄 및 광석 등도 수송할 수 있으며, 다른 어떤 수송수단보다 수송비가 싸다. 석탄을 수송하기 위해서는 액화 및 건조과정이 필요하므로 추가적인 비용이 들기 때문에 철도운임이 아주 낮으면 경쟁이 되지 않는다.

비용은 수송상품의 종류, 수송거리 및 적하규모에 따라 다르기 때문에 각 수송수단의 수송비용을 간단하게 비교할 수는 없다. 철도는 아주 효율적으로 운영된다면 해운과 경쟁이 가능하며, 더욱이 piggyback 운영은 기존철도나 트럭보다 유리하다.

6 승객수송

화물특성과 마찬가지로 승객특성은 통행목적에 따라 각종 교통수단의 상대적인 장점을 이용하게 된다. 승객수송의 적절한 분담을 결정하는 것은 매우 복잡하다. 왜냐하면 화물수송과는 달리 이용자가 수송수단을 선택하는 데 있어서 비용을 크게 중요시하지 않기 때문이다. 승객이 수송수단을 선택하는 데 고려하는 요소는 속도, 편리성(특히 운행빈도와 소화물 운반능력), 프라이버시, 쾌적성, 주변의 경관, 차내 서비스의 질과 다양성 등이며, 통행목적에 따라 이용자는 이들 각 특성의 중요성을 다르게 평가한다.

승객수송을 통행목적별로 분류하는 데 있어서 가장 먼저 해야 할 일은 도시 간과 도시 내 통행을 구별하는 것이다. 도시 간 통행은 위에 열거한 모든 특성을 중요시하는 여행목적통행과 속도에 특히 중요성을 부여하는 사업목적통행이 있다. 도시 내 통행에는 정시성(定時性)을 중요시하며 편리성, 쾌적성, 프라이버시는 대수롭지 않게 생각하는 출퇴근목적통행(등하교 포함)과 편리성, 특히 소화물 운반능력을 중요시하는 쇼핑목적통행, 프라이버시, 쾌적성 등을 중요시하는 위락목적통행이 있다.

승객수송에 사용되는 버스, 승용차, 철도, 비행기 등의 수송비용을 한계비용으로 따지면 거의 비슷하다. 그러므로 수송수단의 선택은 비용의 단순한 비교보다도 서비스의 질에 따라 결정된다. 예를 들어 쇼핑이나 위락목적처럼 편리성, 프라이버시, 쾌적성을 중요시하고 속도에는 개의치 않는 통행에는 절대적으로 승용차를 많이 사용한다. 반면에 출퇴근통행은 이와 양상이 다르다. 대도시의 경우 승용차로 출퇴근하는 비용은 매우 클 뿐만 아니라 혼잡으로 인한 시간 소모 때문에 버스나 전철이 인기가 있다. 전철은 접근하기 불편하고 융통성이 적은 교통수단이지만, 빠르고 정시성을 가지고 있으므로 규칙적인 출퇴근통행을 위해서는 많이 이용된다. 그러나 전철역까지 가고 또 기다려야 하므로 통행시간은 버스나 승용차에 비해 더 길릴 수도 있다.

버스는 전철보다 편리하나 승용차보다는 이용이 불편하다. 또 프라이버시 측면이나 자리를 잡지 못하고 서 있을 확률이 높을 때 서비스의 질이 전철보다 크게 나을 것이 없으며 승용차보다는 못하다. 물론 버스의 속도는 전철보다는 승용차와 비슷하다.

도시부에서 출퇴근시간의 혼잡을 완화시키기 위해서는 요금체계를 조정하여 사람들이 버스를 이용하거나 자동차 합승을 하도록 경제적인 유인책을 씌으로써 첨두시간에 도로의 승객수송능력을 증가시켜야 한다. 그렇게 되면 또 버스의 통행속도가 높아져서 버스이용객을 유인하는 상승작용을 한다. 버스는 단위서비스당 차량 구입에 투자되는 비용이 전철보다 훨씬 적기 때문에 버스 이용이 확대되면 전철이용객이 증가하는 것보다 사회비용이 적게 들어 유리하다.

도시승객의 경우 여행목적통행은 승용차가 가장 편리한 수단이다. 그러나 사업목적통행은 속도를 중요시하므로 고속철도나 항공을 주로 이용하거나 통행길이가 짧거나 소화물을 지참하고 있는 경우에는 승용차를 이용한다. 이와 같은 경향은 시간이 지나도 현저하게 바뀌지 않을 것이다.

19.3.4 운임결정의 원리

가격이론이 경제이론의 중심인 것과 같이 운임이론은 교통경제이론의 중심이다. 일반상품의 가격과 마찬가지로 교통서비스에 대해서 지불되는 보수, 즉 운임을 교통서비스의 가격으로 간주해도 무방하다. 일반적으로 가격은 수요와 공급과의 균형점에서 성립된다. 이것은 자유경쟁체제하에서 가격의 매개변수적 기능(parametric function of prices)을 원활히 수행할 수 있는 가격구조(price mechanism)에서만 가능하다. 가격의 형성은 단기나 장기나에 따라 다르며, 전자의 경우는 수요가격(demand price), 후자의 경우는 공급가격(supply price)이라 볼 수 있다.

운임학설로는 지금까지 운송가치설(value of service theory)과 운송비용설(cost of service theory)의 두 가지 큰 줄기가 있는데 전자는 수요가격에, 후자는 공급가격에 중점을 두는 것이다.

1 운송가치설

운송의 경제적 기능은 화물의 공간적 효용(place utility)을 증대시키는 데 있는 만큼 이에 대해 지불되는 대가로서의 운임은 당연히 그 증대된 효용에 근거를 두어야 한다. 이러한 의미에서 어느 운송서비스가 갖는 가치는 그것의 한계효용, 즉 한계운송단위(톤·km)의 가치증가분에 의하여 결정

된다. 이 가치증가는 이동되는 두 지점 간의 수요가격의 차이이므로 결국 운임의 최고한도는 이 차
이보다 클 수 없다.

운송가치설은 전통적으로 운송부담력설(the 'charging what the traffic will bear' principle)이라
고 불렀는데, 이 '이용자가 감당할 수 있는 것'은 앞에서 말한 운송대상의 가치증가분에 의해서 결
정된다.¹⁹⁾ 이처럼 운송거리나 운송비용에 관계없이 운송부담력에 의해 운임을 결정하는 데는 수송수
단 간의 경쟁을 배제한 독점적인 성격을 전제로 하고 있다. 이 이론에 의하면 같은 상품이라 하더라
도 수요가격이 시장마다 다르므로 이에 따라 운임에 차등을 두어 소비자잉여(consumer surplus)를
최소화함으로써 전 시장의 독점적 이윤을 극대화하기 때문에 수요가격에 중점을 두는 학설이라고
한다. 또 같은 시장으로 수송되더라도 수송되는 상품의 종류에 따라 운송부담력이 다르므로 상품에
따라 운임이 달라진다. 일반적으로 고가품은 염가품에 비해 운송부담력이 크므로 운임이 높다. 따라
서 운송부담력은 수송대상화물, 지역, 수요자에 따라 차이가 나므로 결국 운송가치설에 의한 운임은
차별운임(discrimination rates)의 형태를 취한다고 볼 수 있다. 철도운임은 운송가치설의 원리하에
차별운임형태를 취하며, 이를 철도화물등급표로 공시하여 사용하고 있는 나라가 많다. 화물등급표는
화물의 가격을 기준으로 하여 가치밀도(중량, 용적에 대한 가격의 비)가 큰 화물일수록 운송부담력
이 크다고 간주하여 이것의 크기에 따라 등급을 매기고, 부차적으로 운송비용도 고려하여 운임의
크기순으로 최종등급을 매긴다. 여기서 가치밀도(value density)²⁰⁾가 큰 화물은 운송비용이 적게 드
는 반면 운송부담력이 크며, 반대로 가치밀도가 작은 화물은 운송비용이 많이 드는 반면 운송부담력
이 작다. 따라서 똑같은 상품이라 할지라도 그 가치에 따라서(충전된 건전지와 그렇지 않은 건전지
의 경우처럼) 운송부담력이 달라지며 화물등급도 달라진다.

화물의 운송부담력이 운임결정의 주요 기준일 뿐만 아니라 화물의 도착지, 발송지, 화물의 용도에
따라 운임이 달라지는 경우도 있다. 예를 들어 도착지가 다른 동종의 화물이 같은 노선을 경유할
때 그중 도착지가 먼 화물에 부가되는 그 노선운임은 가까운 화물보다 적다. 마찬가지로 발송지가
먼 곳에서 와서 어떤 노선을 이용하는 경우의 운임은 그 노선의 가까운 곳에서 그 노선을 이용하는
운임보다 싸다. 이와 같은 경우는 물론 완전한 자유경쟁하에서는 발생하지 않으며, 정부의 수출장려
정책이나 철도의 독점하에서 자유경쟁이 제한을 받는 경우에만 가능하다. 또 어떤 상품의 가격이
동일하다 할지라도 그 용도에 따라 운송부담력이 달라져 운임이 달라질 수 있다(예를 들어 전기재료
로 쓰이는 구리와 지붕을 덮는 데 쓰이는 구리). 그러나 이와 같은 용도주의(use principle)는 다분히
주관적이기 때문에 운임을 인상 또는 인하시키기 위한 핑계로 남용될 우려가 있어 이를 채택하는
데는 극히 유의해야 한다.

결론적으로 운송가치설의 적용은 수요를 어느 정도 분리할 수 있는가, 시장을 어느 정도 세분화
수 있는가에 달려 있으며, 만약 어떤 상품이 사회경제적 사정에 의해 이 전체를 충족시키지 못한다
면 그에 따른 화물등급표의 작성이나 적용을 어느 정도 변경해야 한다.

2 운송비용설

운수사업, 특히 철도에서는 고정자본의 비율이 크며 그 시설의 경제수명이 길고 정확한 원가계산

이 어렵기 때문에 자칫하면 운송비용이 갖는 의미를 엄격하게 추구하지 못할 우려가 있다. 그러나 적어도 지속적인 경영을 하려면 여기에 투자되고 발생하는 모든 비용을 회수해야 한다. 따라서 운송비용은 당연히 운임결정의 중요한 기준이 될 수 있다. 운임은 수요의 함수임과 동시에 비용의 함수이기도 하다. 운송가치설이 ‘이용자가 감당할 수 있는 것’을 기준으로 하여 운임의 최고한도를 결정하는 이론임에 반해, 운송비용설은 ‘철도가 감당(부담)할 수 있는 것(what the railway can bear)’을 기준으로 하여 운임의 최저한도를 정하는 이론이 된다.²¹⁾

그러나 개개의 화물을 운송하는 데 소요되는 비용을 절대적으로 산정하는 것은 대단히 어려우므로 각 화물의 ‘비교운송비용의 방법(method of comparative cost of transportation)’을 사용하기도 한다. 이 방법에서 논의되는 운송비용은 소위 방증자료에 불과하며, 이것으로 합리적인 운임결정을 할 수 없다. 운임결정에 있어서 주도적인 역할을 하는 것은 대부분의 경우 운송가치이며, 운송비용은 소극적·부차적 의미밖에 갖지 못한다. W. Z. Ripley의 표현을 빌리면 그것은 ‘운송가치설에 대한 하나의 중요한 통제수단’에 불과하다.²²⁾ 일반적으로 경쟁에 약하고 독점이 강해 운송수요의 탄력성이 작을 때는 운송가치가 운임결정의 기준이 되며, 경쟁이 강하고 운송수요의 탄력성이 클 때는 운송비용이 운임결정의 기준이 된다.

19.3.5 운임의 형태

운임의 구체적인 형태에는 여러 가지가 있으나 역사적 발전과정으로 볼 때 계약운임(contract rates)과 표정운임(tariff rates)으로 나눌 수 있다. 역사적으로 볼 때 common carrier의 초기에는 운송조건이나 내용은 개개의 수요자와 운송자 사이에서 결정되었다. 따라서 운임도 계약 때마다 결정되었으며, 여기에는 어떤 기준형태가 없었다. 지금도 극히 소범위의 운송수요자를 상대로 하는 수송수단은 이와 같은 운임형태가 있을 수 있다. 그러나 경제발전에 따라 운송량이 증가함과 동시에 운송상의 자연적 장애를 극복할 수 있는 교통기술이 발달하여 운수사업이 일정한 형태를 나타내게 되었고, 유사한 형태의 운송에 대해서는 동일한 운임을 적용하는 것이 운송자나 수요자 쌍방에 유리하고 편리하게 되었다. 그렇게 하는 것이 작업이나 채산을 합리적 또는 계획적으로 운영하기가 쉽기 때문이다. 그 결과 일정한 내용이나 형태를 가진 운송에 대해서 미리 일정한 형식을 가진 일람표식으로 운임을 공시하고 이를 지속적으로 실시하는 방법이 일반화되었다. 이렇게 되면 개개의 운송에 대하여 에누리가 생길 여지는 거의 없고, 운임을 포함한 운송계약상의 여러 조건이 일방적으로 정해진다. 이와 같이 불특정다수의 수요자를 상대로 하는 운임형태를 표정운임이라 한다.

1 운임형태의 분류

운송가치(운송부담력)를 운임결정기준으로 삼는 경우와 운송비용을 운임결정기준으로 삼는 경우에 따라 운임형태는 두 가지로 나누어진다. 이것을 화물운임에 대해서 말하면 다음과 같이 간단히 요약할 수 있다.

- 운송부담력 기준운임(차별운임)
 - { 화물부담력 기준운임(commodity discrimination rates)
 - { 하주부담력 기준운임(personal discrimination rates)
 - { 장소부담력 기준운임(place discrimination rates)

- 운송비용 기준운임(무차별운임)
 - { 화물중량 기준운임
 - { 운송거리 기준운임

말할 것도 없이 운송비용의 많고 적음은 단순히 화물중량과 운송거리에만 영향을 받는 것이 아니라 그 밖에 연료소모량, 작업종사원수, 운송시간 등에도 영향을 받는다. 그러나 앞의 두 변수는 운송에서 발생하는 가변비용을 비교적 직접 표현할 뿐만 아니라, 자의를 허용하지 않는 객관적 숫자로 나타낼 수 있기 때문에 운임산정에 극히 간편하게 사용되는 변수이다.

운임형태에 대해서 간략하게 설명하면 다음과 같다. 여기서 특히 화물운임을 대상으로 한 이유는 화물운임의 형태가 여객운임의 형태에 비해 경제적으로 중요할 뿐만 아니라 이론적으로도 취급해야 할 문제점을 많이 포함하고 있기 때문이다.

(1) 차별운임과 무차별운임

무차별운임이란 하주, 화물, 운송구간 등이 갖는 운송부담력에 관계없이 주로 운송비용이론에 따라 톤·km를 단위로 하는 운임이다. 이 단위는 객관적인 기준이기 때문에 운임산출이 매우 간단하게 되므로 *natural rates*라고도 한다. 그러나 너무나 단순한 비용이론에 입각하여 수급관계의 차이를 무시함으로써 오히려 불공평·불합리한 점도 있을 수 있다.

차별운임(*discrimination rates*)은 운송비용보다 운송부담력을 중시하여 운송화물의 가격, 운송의 형태, 시장경쟁관계 등에 따라 운임에 차등을 둔다. 때와 경우에 따라서는 운송비용은 동일한데도 불구하고 운송하는 화물, 하주, 운송구간에 따라 운임에 차등을 둔다. 화물차별운임은 소요운송비용이 동일한데도 불구하고 화물의 가격(운송부담력)에 따라서 운임에 차등을 두는 것이다. 하주차별운임은 다른 것은 모두 동일한데 탁송하주에 따라 차별을 두는 경우로서 불공정한 암운임(*midnight tariff*) 등을 말하나 국가의 사회, 경제정책에 의해서 오히려 정당화 또는 권장되는 경우도 있다. 운송구간(장소) 차별운임은 같은 회사가 경영하는 노선 중에서 경쟁노선은 운임을 싸게, 독점노선은 운임을 비싸게 차별하는 경우, 또는 같은 운임을 적용하지만 경쟁노선에는 최신차량, 독점노선에는 노후차량을 운영하는 경우로서 불공정한 경우가 많으나 국가의 정책상 이것이 권장되는 경우도 있다.

(2) 중량(용적)기준운임

운임을 결정하는 데 있어서 가장 객관적이고 구체적인 기준이며 사용하기가 간편하다. 단순히 중량만으로 운임이 결정되는 것이 아니라 용적이나 화차이용도 등에 따라서도 운임이 달라진다. 만일 적재효율의 측면에서 중량보다도 용적을 더 중요시해야 할 경우에는 용적이 운임표시의 단위가 된다. 실화물이 그 좋은 예이며, 해운의 *measurement ton*(40 입방피트), 항공에서 *dimensional pound*(400 입방인치) 등이 그러한 예이다.

(3) 거리기준운임(distance rates)

화물의 운송가치는 장소를 옮겨 운반됨으로써 실현된다. 거리를 기준으로 한 운임에는 단위거리의 운임이 동일하여 운송거리에 비례해서 운임이 증감되며, 단위가 톤·km로 나타나는 거리비례운임(mileage rates), 터미널비용 등이 운송거리에 따라 분배가 되므로 운송거리가 길수록 단위거리당 운임이 감소하는 원거리체감운임(tapering rates), 전 운송구간을 몇 개의 존으로 나누어 존마다 단위거리운임을 정하여 해당 운송이 걸치는 거리나 존수에 따라 소요운임을 정하는 존 운임(zone rates)이 있다. 여기에는 한 도시를 한 존으로 하는 경우가 있고, 또 한 존을 여러 구간으로 나누어 통과 구간 수에 따라 운임을 결정하는 구간운임도 존 운임의 일종으로 볼 수 있다. 또 국내우편과 시내버스와 같이 운송구역이 비교적 소범위이고 운송량이 극히 많은 경우에는 운송거리에 관계없이 같은 운임을 사용하는 균일운임(flat rates)이 있으며, 도심혼잡지역 통행기피, 과속난폭운전 등의 문제점을 해결하기 위해서 택시에 주로 사용하는 시간거리병산제가 있다.

(4) 특수존 운임

존(zone)제를 여러 가지 방법으로 응용하여 운임을 결정하는데, 여기에도 interzone rates, basing rates, grouping rates, blanket rates 등이 있으나 설명을 생략한다.

(5) 할인운임, 연환불운임

할인운임은 사회정책, 산업장려, 문화정책, 철도영업 목적 등을 위한 것으로서 운송수요나 운송비용상으로 볼 때 그 나름대로의 이유가 있으며, 일반인에게 공시함으로 비밀스러운 것은 아니다. 그러나 할인요금의 특수형태인 비밀환불은 표면상으로는 정상적인 운임을 지불하는 것처럼 보이나, 사실은 일정 시간 그 운송기관을 이용하는 것(loyalty)을 조건으로 환불해 주는 일종의 하주차별운임이다. 특히 운임지불 즉시 환불해 주는 것이 아니라 특정운송기관을 이용하는 일정 기간이 지난 후에 환불해 주는 것을 연환불운임(deferred rates)이라 한다. 물론 이와 같은 형태의 운임은 법적으로 금지되고 있다.

2 우리나라의 운임제도

운임결정의 기초가 되는 운임이론과 운임형태에 따라 실제 우리나라에서 적용되는 운임제도는 앞에서 설명한 각종 형태를 고루 취하고 있다. 시외버스, 항공, 철도는 거리비례운임을 적용하며, 고속버스 및 연안여객선은 원거리체감운임을, 지하철, 전철은 구간운임, 시내버스는 균일운임, 직행좌석버스와 시계 외까지 운행되는 시내버스는 존 운임, 시내택시는 시간거리병산제를 적용하고 있다.

철도화물은 차급화물운임과 소화물운임으로 대별된다. 차급화물운임제는 화차 1량분 이상의 화물에 적용되며, 소화물운임은 소화물에 적용된다. 이들 운임은 화물의 가격, 형태, 위험도 등에 따라 차별을 두고 있다. 이와 같은 화물별 차등제는 세계적으로 널리 사용되고 있는 제도로서 그 차등은 대개 4~5등급으로 나누고 있으나, 우리나라에서는 3등급으로 구분되어 있다.

공로화물의 운임은 노선화물운임과 구역화물운임으로 대별된다. 노선화물은 운행구간을 설정하여 정기화물 운송서비스를 제공하고, 구역화물은 지정된 지역의 화물운송을 부정기적으로 수송하되 장

거리운송도 가능하다. 노선화물과 구역화물의 운임은 거리와 중량에 의해 결정되며, 구역화물의 경우는 차종별(톤·급별) 원거리체감제를 채택했으나, 구역화물의 일종인 용달화물은 중량에 관계없이 거리비례제를 사용한다.

연안해운화물의 운임은 화물중량별 원거리체감제를 적용하되, 철도와 마찬가지로 화물의 종류에 따라 3등급으로 구분하여 차등운임제를 실시하고 있다.

현재 우리나라에 있어서 운임결정에 관한 기본적인 이론이 정립되어 있다고는 볼 수 없으나 운임 결정 절차상으로 볼 때 운송비용설을 중심이론으로 한 절충설을 채택하고 있다. 즉 현재 철도운임결정은 물가안정 및 공정거래에 관한 법률에 의거, 건설교통부장관은 물가안정위원회와 국무회의의 심의를 거쳐 대통령의 승인을 얻어야 한다. 또한, 자동차, 선박 및 항공운임은 관련되는 여러 가지 법률에 의하여 건설교통부장관의 인가를 받도록 되어 있으며, 건설교통부장관이 이를 인가하고자 할 때에도 역시 물가안정 및 공정거래에 관한 법률에 의하여 사전에 재정경제원장관과 협의하도록 되어 있다.

그리고 운임결정에 있어서는 원칙적으로 원가계산을 기초로 함은 물론 적정이윤을 고려하고 있으나, 예외적으로는 국민경제와 국민대중생활에 미치는 영향을 고려하여 운임이 적정원가 이하에서 결정되는 경우도 있으며, 또한 투자자본이나 시설확장 등의 이유로 인하여 원가 이상으로 결정되는 경우도 있지만 이것은 어디까지나 예외적인 것이며 기본원칙은 원가를 보상하는 선에서 결정하고 있다.

그리고 현재 실정법에 의하여 국가가 직접·간접으로 운임결정에 크게 관여하고 있지만, 이것은 독점기업의 횡포를 최소한으로 억제하기 위한 것이지 무한정 국가가 해당 기업에 간섭을 가하기 위한 것은 아니다.

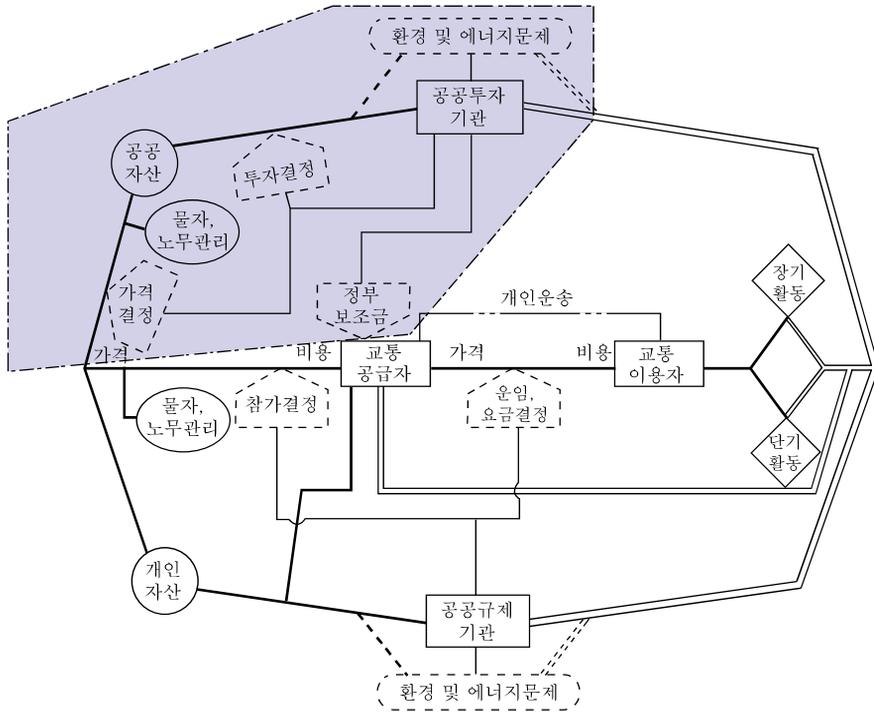
19.4 공공투자

교통경제의 영역에서 공공투자가 관련되는 부분은 [그림 19.8]과 같이 나타낼 수 있다.

교통시스템은 언제나 대규모의 자본투자를 요한다. 따라서 교통시설의 건설과 운영에 대한 예산 투입의 필요성과 그 투자규모를 결정하는 일은 매우 중요하다. 교통에 대한 투자는 차량과 터미널에 대한 투자, 도로, 철도, 수로 등 교통시스템에 관한 투자 등과 같이 여러 가지가 있다.

19.4.1 투자분석의 틀

투자여부를 결정하기 위해서는 제일 먼저 투자비용과 편익을 비교할 필요가 있다. 이때 비교의 관점은 사회 전반에 관한 것이어야 한다. 만약 투자비용이 편익보다 크다면 그 사업은 포기되어야 하지만, 편익이 비용보다 클 경우에는 그 초과편익이 다른 사업에 투자했을 때 얻을 수 있는 초과편익과도 비교되어야 한다. 여러 가지 투자대안 중에서 초과편익이 가장 큰 것을 선택하는 이유는 한



[그림 19.8] 공공투자자의 영역

정된 자원으로 인해 투자가 결코 무제한으로 가능한 것이 아니기 때문이다.

투자의 기회비용은 그 자원을 최선의 다른 용도에 사용하는 것을 포기하는 비용(편익상실)이다. 이와 같은 문제는 도로계획에서 일반적으로 발생한다. 도로신설예산이 제한되어 있고 편익이 비용을 초과하는 대안들이 있다면 여러 가지 제안 중에서 가장 좋은 대안을 선택하고, 또 그 프로젝트의 여러 가지 설계대안 중에서 가장 적합한 것을 선택해야 한다.

투자결정의 문제를 생각함에 있어서 고려해야 할 사항은 다음과 같다. 여기서 사용하는 예는 주로 교량건설에 관한 것이다.

1 운영비

투자비용을 계산하는 데는 교량의 건설비용과 그 교량의 서비스수명(service life)까지의 운영비와 유지관리비를 포함한다. 만약 운영비와 유지관리비가 매우 적으면 이를 생략해도 좋다.

2 할인비용

이자율이 있는 한 현재금액의 가치와 미래금액의 가치는 같지 않고 미래비용은 할인되어야 한다. 교통에 있어서는 시설 및 장비의 서비스수명이 비교적 길므로 장차 여러 해 동안의 비용을 고려해서 투자결정을 해야 한다. 할인을 위해 사용되는 이자율을 얼마로 할 것인가에 대해서는 여러 가지 논란이 있다. 미래에 나타나는 일련의 비용을 현재의 일시비용으로 환산하는 공식은 다음과 같다.

$$C = C_0 + \frac{C_1}{(1+r)} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_T}{(1+r)^T} \quad (19.7)$$

여기서 C : 프로젝트의 서비스수명 동안 지출되는 일련의 비용을 현재가로 나타낸 값

r : 단위기간당 이자율

T : 기간 수

즉 모든 비용의 총 현재가는 할인된 매 기간의 비용을 합한 것이다.

비용은 그 지출의 시기가 늦을수록 많이 할인되므로 그 중요성이 작아지며, 할인액은 적용되는 이자율에 직접 영향을 받는다. 따라서 이자율이 크고 기간이 길면 마지막 항의 크기는 대단히 작아진다. 분석에서 단위기간이 반드시 1년일 필요는 없고, 월 또는 분기가 될 수도 있다. 만약 분기별로 계산을 하면 이자율은 분기당 이자율로 바꾸어 주어야 한다.

3 현장복구비용

프로젝트는 서비스수명이 끝나면 사회적인 가치가 전혀 없을 수도 있고, 경우에 따라서는 오히려 장애물이 되어 치워 없애야만 할 경우도 있다. 이와 같이 현장을 원상태대로 복구시키는 비용은 $(1+r)^T$ 으로 할인되어 위 식의 맨 마지막 항에 추가된다. 만약 r 또는 T 가 크거나 현장복구비용이 매우 작으면 이것은 무시될 수도 있다. 교통시설의 대부분은 서비스수명이 길므로 현장복구비용은 무시된다. 그러나 일시적인 목적으로 건설된 시설(박람회 등을 위한 임시시설 등)은 현장복구비용이 감안되어야 한다.

4 매몰비용

일단 초기투자가 이루어진 다음에 추가투자를 위한 프로젝트 분석에서는 반드시 고려해야 할 비용과 무시해야 할 비용의 구분을 명확히 해야 한다. 매몰비용(sunk cost)에 관한 법칙은 간단하다. 그것을 무시하면 된다. 과거에 이루어진 모든 비용은 모두 매몰비용으로 취급된다. 문제는 장차 발생할 비용이 어떤 것인가이다.

이와 같이 하면 과거를 전혀 무시하는 것 같아 불합리하게 보일지 모르나 그렇지 않다. 예를 들어 교량건설을 위한 두 가지 계획을 생각해 보자. 첫 번째 계획은 기존교량을 개선하는 것이고, 두 번째 계획은 기존교량을 헐고 완전히 새로운 교량을 건설하는 것이다. 문제는 어느 것이 더 값싼 계획인가 하는 것을 찾아내는 것이므로, 이를 계산할 때 지금까지 기존교량에 투자된 모든 비용을 무시하는 것은 당연하다. 다시 말하면 경제분석에서는 과거에 일어난 것은 공짜로 주어진 것이라 생각하고 미래의 비용만을 생각한다(그러나 회계학에서는 과거비용을 반드시 고려한다. 그래서 회계학자는 역사가요, 경제분석가는 예언자라는 말이 있다). 만약 새로운 교량을 건설하는 비용이 더 싸다면 기존교량의 수명은 끝난 것으로 본다.

기존교량의 비용을 채권발행에 의해 조달한 경우처럼 그 비용이 완제되지 않는 경우도 있으나 이것 역시 고려할 필요가 없다. 왜냐하면 새로운 교량을 건설하든 기존교량을 개선하든 상관없이 과거의 부채는 상환되어야 하기 때문이다. 아무튼 두 대안에 대해서 앞으로 지출해야 할 비용이 각

각 얼마인가를 비교하여 가장 값싼 대안을 선택해야 한다.

5 장래 편익할인

투자로부터 얻는 편익은 현금뿐만 아니라 그 기업이나 크기는 사회 전반에 미치는 편익까지도 포함된다. 이들 편익의 종류는 프로젝트의 종류에 따라 달라진다. 예를 들어 철도가 그 노선을 단축하기 위해서 교량을 건설한다면 이때의 편익은 철도의 운행비용을 절감하는 것이다. 또 유료교량을 건설한다면 교량관리자가 얻는 편익은 통행료수입이 될 것이다.

장래의 비용을 할인하듯이 미래의 편익도 할인해야 한다. 예를 들어 유료교량으로부터 얻는 편익은 그 교량의 서비스수명 동안에 얻는 모든 수입이다.

편익을 계산하는 공식은 비용에 관한 공식과 매우 비슷하다.

$$G = G_0 + \frac{G_1}{(1+r)} + \frac{G_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{G_T}{(1+r)^T} \quad (19.8)$$

여기서 G : 프로젝트로부터 예상되는 일련의 편익을 현재가치로 나타낸 것

G_0 : 초기의 편익

G_1 : 첫 기간 동안의 편익

G_T : T 기간 후의 편익

r : 단위기간당 이자율

따라서 편익의 총 가치는 그 프로젝트의 서비스수명에 걸쳐 각 기간 동안에 얻는 편익을 합한 것이다.

6 잔존가치

서비스수명이 끝난 후에도 그 프로젝트에 어떤 가치가 남아 있다면 할인율을 적용하여 이를 고려해야 한다. 그 프로젝트의 수명이 매우 길면 현장복구비용과 마찬가지로 이 잔존가치는 무시해도 좋다. 하지만 만약 차량처럼 내용기간이 길지 않고 잔존가치가 남아 있다면 이를 편익계산에 포함시켜야 한다.

7 기타 계산방법

앞에서 설명한 비용과 편익의 현재가치를 계산하는 방법으로서 매 기간의 편익과 비용의 차이, 즉 순편익을 기간별로 할인하여 총 순편익의 현재가치를 구해도 좋다. 또 비용과 편익의 현재가를 같다고 보고 이자율에 대해서 풀음으로써 초기투자에 대한 기대수익률(rate of return)을 구할 수도 있다. 여기서 기대수익률이란 내부수익률(internal rate of return)로서 수익을 다른 사업에 재투자한 결과의 수익은 고려하지 않는 것이다. 이 방법은 계산이 복잡하기는 하나 기대수익률이 클수록 그 투자는 더욱 바람직하다는 결론에 도달할 수 있으며, 그 결과는 앞에서 설명한 순편익에 대한 현재가의 크기를 비교하여 대안을 선택하는 것과는 모순이 없다. 그러나 do nothing 대안을 포함하여 3개 이상의 대안을 비교할 때는 IRR이 크다고 반드시 좋은 대안은 아니며, 각 대안들 간의 증분수

익률을 비교하여 판단해야 한다.

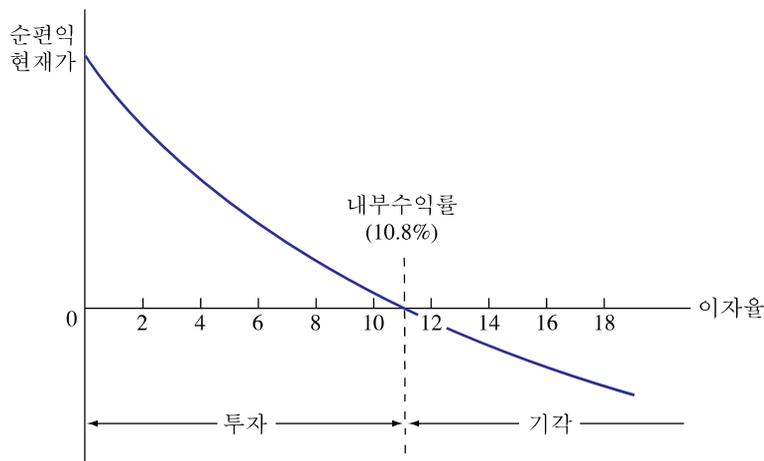
각 대안의 편익과 비용의 비(B/C비)를 구하여 비교하는 방법도 있으나, 이것 역시 각 대안들 간의 증분 B/C비를 이용하여 판단해야지 단순히 B/C비가 큰 대안을 선택하면 잘못된 선택을 할 수 있음에 주의해야 한다. 더 자세한 내용은 16장에 상세히 설명한 바 있다.

8 이자율의 결정

계산에 이용되는 이자율(여기서의 이자율은 명목상 이자율로서 인플레이션으로 인한 영향은 무시한다)의 선택은 매우 중요하다. 이자율이 높을수록 순편익이 적어지며, 이자율이 내부수익률과 같을 때 비용과 편익은 같아진다. 물론 이자율이 내부수익률보다 크면 그 프로젝트는 수행할 필요가 없다. 이자율이 높으면 프로젝트의 수명이 길 때보다 짧은 때가 더 유리하다. 만약 초기투자가 크고 운영비용이 작은 프로젝트와 초기투자가 작고 운영비용이 큰 프로젝트가 있을 때 이자율이 높을수록 운영비용이 크게 할인되어 그 중요성이 작아지므로 후자가 유리하다.

이자율이 0이 될 수 없다는 것은 상식이나, 그렇다고 여러 가지 상황에서 어떤 값을 사용해야 할 것인가에 대해서는 한마디로 이야기할 수 없다. 경제학의 관점에서 볼 때 이자율은 시장이자율을 사용하는 것이 바람직하다. 시장이자율은 각종 경제단위의 경제활동에서 일관성을 유지하는 역할을 수행한다. 그것은 국가 전체로 볼 때 개별 프로젝트의 분석과 일반평형분석 간의 연결역할을 한다. 한 국가의 모든 경제단위(개인이든 공공기관이든 간에)가 어떤 곳에 투자를 하고자 할 때 주어진 연도의 수익률을 계산할 것이다. 어떤 경제학자는 모든 사람이 같은 기준의 수익률, 즉 일반이자율을 사용해야 한다고 주장한다. 그렇게 되면 수익률이 일반이자율보다 큰 프로젝트는 시행할 가치가 있고, 그렇지 않으면 시행할 가치가 없다([그림 19.9]).

개별 프로젝트를 생각할 때 시장이자율을 사용하든 또는 내부수익률을 계산하여 시장이자율과 비교하든 상관없다. 만약 시장이자율을 사용하여 순편익이 정(正)의 값이면 그 프로젝트는 시행할 가치가 있다. 만약 내부수익률을 계산한 값이 시장이자율보다 크면 그 프로젝트 역시 시행해도 좋다.



[그림 19.9] 각 이자율에서의 순편익 현재가

시장이자율은 그 프로젝트의 기회비용의 척도가 된다. 만약 어떤 프로젝트의 수익률이 시장이자율보다 작다면 그 프로젝트는 기각되고 최소한 시장이자율 수준의 수익률을 갖는 프로젝트를 찾을 것이다. 따라서 시장이자율이 높을수록 프로젝트의 기회비용은 커진다.

수익률이 시장이자율보다 큰 투자기회는 아주 많을 수도 있다. 그렇게 되면 투자를 위한 자본수요는 시장이자율을 초과하게 되어 시장이자율이 상향조정된다. 이러한 조정은 시장기능에 의해서 이루어지든 시장에 영향을 미치는 공공기관에 의해서 행해지든 상관없다.

이자율을 생각할 때 그 프로젝트를 위한 자본비용(cost of capital)을 반드시 고려해야 한다. 자본비용이란 개인기업에서는 주식이나 사채를 발행한다든가 또는 대부를 받는다든가 하여 외부로부터 자본금을 조달하기 위해 필요한 비용이다. 일반적으로 자본비용을 나타내는 복합률(composite rate)은 수익률보다 훨씬 높다. 왜냐하면 어떤 기업이든지 프로젝트에 따르는 위험부담과 미래에 대한 불확실성 때문에 복합률보다 얼마 높지 않은 수익률을 가진 프로젝트에는 투자하기를 기피하기 때문이다. 자금 대부를 받을 때 장단기 이자율이 다를 수 있다. 아무튼 각 프로젝트는 그 부채를 프로젝트의 경제수명과 같은 기간 동안 빌린다고 가정할 때의 이자율을 적용하여 평가되어야 한다.

이자율은 또 차용자가 개인기업인가, 공공기관 또는 정부기관인가에 따라 달라진다. 또 차용자의 신용도에 따라 이자율이 달라질 수도 있다. 공공투자기관은 개인기업보다 낮은 위험부담률을 적용받아야 한다고 주장하는 사람이 있는 반면에, 공공기관에서 실제로 지불하는 이자율이 되어야 한다고 주장하는 사람도 있으나, 미국에서는 5년 이상의 정부채권에 사용되는 평균이자율 적용하는 수가 많다. 문제는 얼마나 많은 투자가 공공기관에서 이루어져야 하는가인데, 이자율이 낮을수록 더 많은 프로젝트에 투자된다.

개인기업은 투자분석에 값이야 하는 돈보다 적은 이자율(수익률)을 사용하지 않으려 한다. 실제로 기업이 투자를 분석하는 데 있어서, 예를 들어 15% 정도의 매우 높은 수익률을 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 그와 같은 이자율은 추정과정의 불확실성 때문이다. 미래비용은 과소평가되고 편익은 과대평가될 수 있다. 이와 같은 편익을 인정하기 때문에 투자분석에서 높은 이자율을 사용한다. 이처럼 기업의 투자분석에 사용되어 투자여부의 기준이 되는 높은 이자율을 최저유인수익률(Minimum Attractive Rate of Return)이라 한다. 이것은 투자에서 얻은 편익에 대한 납세 후의 순편익을 나타내는 연간 자본상환율의 하한선으로서 투자한 사람이 수락할 수 있는 최소치를 말한다.

최저유인수익률(MARR)을 결정하는 문제는 과거 수십 년간 논쟁의 대상이 되어 왔으나, 아직까지는 이것을 합리적으로 결정하는 방법이 고안되지 못한 상태이다. 결정된 MARR은 기업의 이윤목표를 나타내기 때문에 대개 기업 최고경영자의 판단에 의한다. 또한 이러한 판단은 기업의 경영진이 현재의 재정상태와 장차 투자기회를 어떻게 보고 있는가에 근거를 두어서 내려지게 된다.

만일 MARR이 너무 높게 책정되면 수익성이 높은 투자기회들을 포기하게 될 것이며, 또 너무 낮게 책정되면 수익성이 낮거나 손해 볼 수도 있는 투자기회들까지도 수락하게 된다. 그러므로 MARR을 정할 때는 너무 높거나 낮지 않게 적절한 타협점을 찾아야 한다.

MARR을 선정하는 한 방법은 현재 고려되고 있는 어떤 투자제안 이외에 어떤 다른 투자기회들의 수익률 중에서 최고의 수익률을 MARR로 삼는 것이다. 그러므로 예를 들어 MARR은 은행예금

이자율보다 높아야 하는데, 그 이유는 기업 내에 아무런 투자기회가 없더라도 언제든지 은행예금에 투자할 수 있는 기회는 있기 때문이다. MARR을 선정할 때 또 한 가지 고려할 사항은 투자에 필요한 자본이 한정되어 있기 때문에 적절한 MARR을 정해줌으로써 수익률이 높은 투자기회부터 우선적으로 투자하는 것이다. 도로와 같이 공공기관에서 수행하는 프로젝트에서는 가용예산으로 수행할 수 있는 우선순위가 제일 낮은 프로젝트의 납부수익률이 바로 MARR이 된다.²³⁾

자본배분의 개념은 장기간에 걸친 투자에 대한 의사결정에도 적용될 수 있다. 모든 사업에는 기복이 있기 때문에 MARR을 결정해 줌으로써 사업이 안 되는 해에 수익성이 낮은 프로젝트에의 투자를 막고, 그 자본을 사업이 잘되는 해에 수익성이 높은 곳에 사용되게 할 수 있다.²⁴⁾

또 MARR은 프로젝트의 성질에 따라 다른율이 사용될 때도 있다. 예를 들어 감가상각되는 고정 자산에 투자할 때는 25%를 요구하고, 다른 회사를 흡수하는 등 기업의 확장을 위해서는 35%의 MARR을 기준으로 할 수 있다. 또한 실패할 위험률이 높은 프로젝트에는 높은 MARR값을 쓰고, 경영진이 어떤 특정 분야의 프로젝트에 투자하고 싶어 한다면 투자를 권장하기 위해서 낮은 MARR을 정할 수 있다. 또 자금의 수요가 공급보다 커지면 이 값을 높여야 할 것이고, 다른 회사에서 이 값을 높여 주면 자기회사도 따라서 높여 줄 때도 있다.

9 내부, 외부비용 및 편익

사회 전반의 관점에서 볼 때 모든 사람에게 미치는 비용과 편익을 계산해야 한다는 것은 앞에서 언급한 바 있다. 만약 개인기업이 교량과 같은 시설에 투자를 하면 그 회사가 지불하는 비용과 회수하는 이득만을 고려할 것이다. 공공기업도 이런 관점에서 볼 때 개인기업과 유사하다. 납부비용은 기업이 지불해야 하는 비용이며, 외부비용은 다른 사람이 지불하는 비용이다.

신규시설로부터 얻는 이득에 따라 사회는 3개의 그룹으로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 현재 다른 시설을 이용하는 사람으로서 신규시설이 건설되면 그것을 이용할 사람이다. 그들은 시설이 개선됨으로써 통행료가 싸지든가 통행거리가 짧아짐으로써 운행비용이 감소되는 편익을 받는다. 또 통행 시간이 단축되는 이득을 얻는다. 둘째, 신규이용자이다. 그들은 신규시설을 이용할 기회가 주어지는 이득을 갖는다. 셋째, 신규시설을 이용하지 않을 사람이 신규시설 때문에 간접적인 이득을 보는 경우, 예를 들어 여전히 기존시설을 이용하는 사람은 기존시설의 혼잡이 완화되어 이득을 본다. 또 신규 교량시설이 건설됨으로써 말미암아 접근성이 좋아져 그 부근의 땅값(자본화 가치)이 오르기 때문에 그 땅의 임자는 그 교량을 이용하든 이용하지 않든 간에 이득을 본다.

이에 비해 어떤 사람은 신규시설의 건설로 손해를 볼 수도 있다. 이와 같은 손해 역시 사회 전반의 관점에서 교량의 전체가치를 계산하는 데 포함되어야 한다. 이 손해를 보상하는 것이 사회정책일 수도 있고, 또 만약 그렇다면 그 보상도 비용계산에 포함되어야 한다. 이 손실은 보상여부와 관계없이 현실로 남아 있다. 예를 들어 교량을 건설하면 주거지역을 관통하는 접근로를 건설해야 할 필요가 생길 수 있으므로 주거지역 주민들에게는 피해를 준다. 이와 같은 피해의 종류에는 대기오염, 소음, 산업시설 및 주거지전, 지역사회파괴 등 여러 가지가 있으며, 이들의 영향을 적절하게 처리하지 못한다면 교통시설을 건설하기가 매우 어려울 것이다. 그러나 더 많은 사람들이 원한다면 그와

같은 영향에도 불구하고 프로젝트를 수행할 수밖에 없다.

간접적인 편익(만약 그 시설을 개인이 소유하고 운영한다면 외부편익이다)이 중요한 것 같이 보이는 것이 교통시스템의 특징이다. 이러한 효과의 추정에는 교통투자분석에서 특히 어려운 부분이다. 이에 관해서는 16장에서 언급한 바 있다.

19.4.2 투자결정방법

앞 절에서 설명한 이론적인 개념을 이해하기 위해서는 투자결정을 하는 몇 가지의 실용적인 방법을 알면 도움이 된다. 여기에는 3가지 방법, 즉 도로개선을 위한 채권발행 때 사용할 수 있는 주민투표방법, 건설과 통행료 징수를 개인기업에 위임하는 방법, 행정부서에서 직접사회비용과 이득을 계산하여 결정하는 방법이 있다. 또 하나는 투자결정을 국회에서 하는 방법도 있다.

1 주민투표방법

공공프로젝트를 결정하기 위해서는 (i) 비용을 계산하고, (ii) 자금조달계획을 수립하여 주민 개인에게 부과되는 비용을 추정하게 하고, (iii) 주민 개인에게 돌아오는 비용과 이득을 알려주고, (iv) 투표를 하여 그 프로젝트의 수행여부를 결정한다.

이와 같은 방법을 시행하는 데 있어서의 문제점은 투표할 주민의 범위를 결정하는 일이다. 교량을 이용하는 사람 중에는 그 교량 바로 가까이에 살지 않는 사람도 있다. 한편, 좀 멀리 사는 사람은 그 교량을 전혀 이용하지 않는다. 다시 말하면 그 시설의 손해 또는 이익을 보는 사람과 투표자를 일치시키는 일이 쉽지 않다. 더구나 어떤 지방에서 한 프로젝트 내에서 여러 개의 시설에 투자하는 경우 개별시설에 대한 주민의 특별한 관심이 무시된다.

두 번째 어려운 점은 각 개인이 갖는 한 표의 의미가 다를 수 있으나 이것이 고려되지 않는다. 다시 말하면 어떤 손해에 대한 무관심한 한 표가 동일한 비중을 차지한다는 것이다. 만약 이와 같은 결점을 보완하지 않는다면 투표에 의한 투자결정은 잘못 내려지는, 즉 사회적인 비효율을 초래할 수도 있다.

2 통행료 징수에 의한 방법

건설된 후 시설의 운영을 개인기업 또는 공공기업에 맡겨 소요되는 비용을 그 시설로부터 나오는 수입으로 충당하게 하는 투자결정방법도 있다. 개인기업은 정상적인 회수율로 그 비용을 충당할 수 있다면 투자를 하게 될 것이다. 공기업도 개인기업과 마찬가지로 그렇게 운영할 수 있다. 그 절차는 (i) 프로젝트를 위한 기구 구성, (ii) 이 기구에 통행료 징수 권한 부여, (iii) 그 기구로 하여금 장래의 통행료로부터 상환할 수 있는 채권을 발행하여 자금조달이 가능한 프로젝트를 진행하게 하는 것이다.

이러한 방법은 편익을 받는 사람이 그만큼 대가를 지불하게 할 수 있어 편익을 받는 바로 그 당시에 대가지불이 이루어지므로 투표에 의한 방법보다 더 공정하다. 그러나 시설의 이용자 중에서 더

많은 통행료를 지불해도 될 만큼 더 큰 편익을 받는 사람이 있을 수 있으나 그것까지는 감안하지 못한다.

앞에서도 언급한 바와 같이 이와 같은 방법에 의하면 시설을 이용하지 않는 사람에 대한 손해 또는 편익은 고려되지 않는다. 그 프로젝트의 사회비용의 일부는 그 기구의 외부비용으로서 보상 되지 않는 채로 남는다.

3 사회이득 및 편익의 직접계산

투자결정의 세 번째 방법은 시설의 사용료로 비용을 충당하지 않아도 되는 공공기관에 책임을 맡기는 것이다. 이 기관은 각 프로젝트의 사회비용과 이득을 명백하게 계산할 수 있다. 이러한 일은 프로젝트에 관해서 결정을 내리는 공공기관에서 수행한다.

원칙적으로 공공기관은 사회적 비용과 편익을 공정하게 계산할 수 있다. 비용이나 편익이 어떻게 계산되는지에 관한 이론적인 문제점은 아직도 있다. 예를 들어 비용을 계산할 때 이자율에 관한 문제점은 앞에서 언급한 바 있다. 편익을 계산할 때는 모든 편익을 단 한 번만 고려해야 한다. 하지만 이들을 중복계산할 가능성은 대단히 크며, 또 이를 포착하기도 어렵다. 간단한 예로 유료도로에서 이용자의 시간절약가치와 통행료 수입을 모두 고려한다면 잘못이다. 이와 같은 문제점은 분석대상인 투자종류에 따라 달라진다.

이와 같은 3가지 투자결정방법은 각각 장단점을 가지고 널리 사용되고 있다. 비용이나 편익계산을 위한 어떤 변수의 측정에서 여러 가지 문제점이 있을 수 있으며, 또 추정오차로 인한 어려움도 투자결정방법에 상관없이 항상 존재하게 마련이다. 따라서 어느 방법이 어느 방법에 비해 좋고 나쁘다는 말은 할 수 없다.

19.4.3 투자결정에서 추정의 문제점

중요한 투자결정에서는 추정의 어려움이 항상 예견된다. 이와 같은 문제점에는 투자결정의 일괄성(lumpiness), 비용과 편익에 관한 재무추정의 문제점, 측정상의 문제점, 투자의 비금전적인 결과에 대한 측정의 어려움, 추정오차가 클 경우의 문제점 등이 있다.

1 일괄성 투자

교통에 대한 투자는 대규모 단위로 일괄적으로 이루어지는 것이 특징이다. 이와 같은 경우는 도로에서 특히 그러하다. 예를 들어 도로를 건설할 때 교통수요에 맞추어 1차로 혹은 3차로의 도로를 건설할 수는 없을 뿐만 아니라 0.1차로를 추가한다는 것도 불가능하다. 또 교통시스템이란 예산이 적다고 일부분만 건설하면 가치가 아주 작거나 전혀 없을 수도 있기 때문에, 이에 대한 투자는 일괄성을 갖는다.

완전한 교통시스템의 각 부분은 각기 전체의 운영에 기여를 한다. 생산된 교통서비스는 그 시스템

전체의 공동생산물이다. 시스템 전체를 일괄적으로 계획하면 단일 설계시방을 사용할 수도 있고, 또 시스템 구성요소들 간의 연결성도 좋다. 시스템 전체를 계획, 건설하는 데는 대단히 큰 예산을 필요로 하지만, 앞에서 언급한 여러 가지 이유 때문에 투자결정은 완전한 전체시스템에 대한 것이 좋다. 따라서 시스템 전체의 비용과 편익의 추정이 요구된다.

2 자금조달의 추정오차

투자비용추정에 큰 오차가 있을 수 있다는 것은 교통에서 흔히 경험하는 일이다. 투자대상이 완전히 새롭거나 특이한 것일 때 오차의 범위는 특히 커지는 경향이 있다. 그와 같은 오차를 줄이는 일은 경제학에 관계되는 것이 아니라 공학적인 일일 때가 더 많다.

어떤 프로젝트 분석에서 특정한 비용추정에 근거를 두었으나, 실제비용이 그 추정오차를 초과함으로써 오차가 야기된다. 반면에 과도하게 비관적으로 비용추정을 하면 시행되어야 할 프로젝트가 연기되거나 기각되는 결과를 초래한다. 지금까지 없었던 전혀 새로운 프로젝트를 분석할 때에는 비용추정에 어려움이 대단히 많다. 철도건설의 초창기에 비용추정에 오차가 많았다는 것을 충분히 이해할 수 있다. 마찬가지로 오늘날 선진국에서 제안되고 있는 초고속대중교통의 비용을 추정하는 데는 역시 상당한 오차를 감수해야 할 것이다. 문제는 결국 명확한 비용추정 없이 어떻게 투자결정을 하느냐 하는 것이다.

재무예측에서 수입추정의 오차가 비용추정의 오차보다 더 큰 경향이 있다. 특히 교통시설은 시간이 경과함에 따라 그 이용도가 커지는 경향이 있으므로 수입을 추정하기 위해서는 장래의 이용도를 예측해야 하나, 먼 장래를 예측하기는 매우 어렵다.

제안된 투자가 그 지역의 경제에 비해 작은 규모일 때는 그 지역의 다른 경제부문에 미치는 효과를 무시해도 무방하다. 예를 들어 GNP를 예측하는 데 있어서 이와 같은 프로젝트를 별도로 고려할 필요가 없다. 그러나 투자규모가 크면 그것이 다른 경제부문에 미치는 효과를 고려해야 한다. 교통시스템은 상품의 가격, 천연자원의 가용성, 대규모 산업개발, 경제활동의 위치 선정 등에 영향을 미친다. 그러므로 경제 전반에 걸쳐 볼 때 규모가 큰 투자결정분석에는 경제 전반에 미치는 효과를 분석할 필요가 있다. 이러한 분석을 위한 기법을 개발하거나 적용하기란 매우 어렵다.

3 측정상의 문제점

측정상의 문제점은 비재무적인 이득이나 편익을 고려할 때 발생한다. 투자에 대한 현금수입은 계산이 가능하고, 또 현금지출도 계산이 가능하다. 그러나 어떤 투자에 대한 비금전적인 중요성도 고려해야 한다.

비금전적인 편익에는 두 가지 종류가 있다. 첫째는 새로운 시설로서 얻을 수 있는 시간절약이다. 만약 새로운 시설의 이용자가 회사의 사원으로서 시간절약에 따라 회사로부터 보상을 받는다면 문제는 간단하다. 그 사람은 그의 시간가치를 그의 일상 업무에서 받는 보수와 같은 수준으로 평가할 것이다. 그러나 사업에 종사하지 않는 사람에게는 그의 시간가치가 법적 최저임금으로 계산되기도 한다. 더욱 정밀한 접근방법으로서 개인의 선호에 따라(예를 들어 수입과 여가 중에서 어느 것을

좋아하는가에 따라) 그 시간가치를 달리한다. 어떤 학자는 시간에 금전적인 가치를 부여하는 것 자체를 반대하기도 한다.

둘째, 새로운 시설이 제공하는 안전성이다. 그러나 사고건수와 사망자수의 감소를 어떤 방법으로 평가하느냐가 문제가 된다. 사고로 인한 손실을 재산피해나 병원치료비와 같이 금전적으로 나타낼 수 있는 부분도 있으나, 수입손실이나 고통 등과 같이 평가하기가 매우 어려운 것도 있다.

4 큰 오차의 결과

비용과 편익추정의 오차가 매우 큰 경우에는 투자를 결정하는 데 비합리적인 요소에 의해 영향을 받는 경향이 있다. 최종평가를 할 합리적인 근거가 없다면 사람들은 다른 사람들의 소신이나 의견을 참고로 하면서 자신들의 소신과 의견대로 결정을 한다. 중론의 분위기는 갑자기 바뀔 수 있다.

교통투자에 관해서 보수적인 정책을 취한다면, 이득이 비용을 초과하는 것이 확실한 교통시설만 건설하는 결과를 가져온다. 신중한 접근방법은 보다 직접적이고 즉각적인 편익만을 생각하는 경향을 나타낸다. 확장론자의 접근방법은 간접적이며 미래의 편익에 중점을 둔다. 교통투자정책의 역사는 대부분 이와 같이 선택의 역사이다.

이성적인 관점에서 본다면 주요교통투자결정을 순전히 엄밀한 과학적 계산에만 기초를 둘 수는 없다. 모든 정치적이며 인간적인 고려사항이 경제적인 것과 함께 단순한 계산으로 나타낼 수는 없기 때문이다.²⁵⁾ 그러나 합리적인 결정을 내리게 하는 수단은 계속 개발되고 있다.

19.4.4 사용자 부담금

통행료(toll)는 교통시설의 자금조달을 위한 전통적인 방법으로서, 어떤 특정교통시설의 사용자에게만 부과된다. 그러나 사용자 부담금(user charge)은 교통시설의 공급과 유지관리를 위해 사용자집 단으로부터 걷는 돈을 말하며, 특정노선이나 특정시설에 대한 것이 아니라 어떤 부류의 시설 전체에 대한 것이다. 이 부담금은 그 시설을 사용하는 위치에는 관계없이 그 시설의 사용빈도, 차량의 규격, 중량, 기능 등에 따라 차등이 주어진다. 도로가 개설되면 도로에 인접한 토지소유자는 접근성이 좋아지고 지가가 상승하기 때문에 이득을 본다. 따라서 이들 도로의 비사용자에게도 도로비용을 부담시켜야 함은 당연하다.

세금목적으로 도로비용을 할당하는 것은 전기, 수도와 같은 공익사업에서 소비자 가격을 책정하는 것과 매우 유사한 개념이다. 예를 들어 전기사업에서 가정용, 상업용, 산업용 사용자에게 따라 전기료율이 달라지는 것과 마찬가지로 도로에서도 하루 중 첨두시간 및 비첨두시간 이용자 또는 계절별 첨두시간 이용자에 따라 도로사용자 부담금이 달라져야 한다.

공익사업에 대한 요금제도에 기본요금, 사용량에 따른 할인요금, 비첨두요금(야간요금, 장거리 전 화요금 또는 산업용 연료비)제도가 있는가 하면, 철도운임에는 화물의 가치에 따른 차별운임이 있다. 도로에는 사용빈도가 다른 사용자 간에, 또는 다른 부류의 사용자 간에 부담금을 할당함에 있어서 형평성(equity)과 정당성을 갖는 널리 인정된 방법이 없다. 그러므로 개념적으로 건전하고 일관

성 있게 적용할 수 있으며, 일반대중이나 요율의 결정권한을 갖는 기관이 판단해서 합리적인 요율제도를 수립하는 길뿐이다. 도로비용분담을 결정할 때는 두 가지 이상의 안을 만들어 의사결정자가 상한과 하한값의 범위 내에서 요율을 결정하도록 하는 것이 좋다.

자동차는 일찍이 가장 좋은 세수원(稅收源)으로 인정되었다. 면허 및 등록세가 자연적으로 생겨났으며, 차량과 타이어 및 연료에 대한 소비세는 쉽게 징수할 수 있는 장점이 있다. 중요한 사실은 이와 같은 세금으로 인해서 자동차대수나 이용률에 어떤 변화가 나타난 증거는 없으며, 여전히 막대한 세수를 올리고 있는 것이 일반적인 현상이다. 휘발유값이 크게 오르더라도 자동차 이용수요는 매우 비탄력적이라는 사실은 지난 수년간의 연료가격변동에서 경험한 바 있다.

공공시설의 사용자 부담금이 없거나 적으면 그것을 이용하는 사람은 이익을 볼지 모르나 결국 그 비용은 다른 곳으로 전가된다. 더군다나 전가된 비용은 교통서비스 전반에 대한 비용을 증가시키므로 국가적으로 손해이다.

일반적으로 도로사용자 부담금은 개인사용자에게도 부과되는 것이 타당하다. 사용자 부담금은 그 시설의 사용자와 비사용자에 따라 구분되어야 하고, 사용자 중에서도 각 부류에 따라 배당되는 부담금이 결정되어야 한다. 또 도시부 도로와 지방부 도로의 건설비용에 차이가 나므로 당연히 도시부 도로 사용자의 부담금이 높아야 할 것이다. 부담금제도에서 혼잡한 침두시간 이용자와 그렇지 않은 이용자 간의 차등을 두는 것도 바람직하다. 교통수요가 통제되지 않는다면 혼잡에 대한 가능한 대책이란 침두시간의 교통수요를 충족시킬 수 있는 충분한 용량을 가진 시설을 마련하는 길뿐이다. 그러나 이러한 부족현상은 아무리 시설을 확충해도 끝이 없을 것이라는 것이 입증되었다. 사실상 미국에서 도로의 혼잡비용은 연간 약 3.5조 원에 이른다고 추정된 바 있다.²⁶⁾ 공공교통시설이용에 대한 더욱 구체적이고 합리적인 가격결정을 하자면 침두시간 이용자에게는 침두시간 용량의 비용을 물리는, 즉 혼잡가격결정(congestion pricing)의 접근방법을 사용하는 것이 필요할 것이다. 혼잡부담금은 혼잡한 시간에 혼잡한 지역을 운행하는 차량에게 더 많은 부담을 지움으로써 수요에 영향을 주어 도로를 효율적으로 사용하게 한다.

1 사용자 및 비사용자 분담

비용에 대한 비사용자가 분담해야 할 몫을 결정하기란 대단히 어려우므로 항상 논란의 대상이 되고 있다. 그러므로 비용할당의 일반적인 접근방법은 정당한 근거를 가지고 사용자 몫을 먼저 결정한 다음, 그 나머지를 비사용자에게 돌리는 것이다.

재무분석의 목표는 그 시설의 서비스수명 동안에 사용자와 비사용자 간의 상대적인 도로비용분담을 결정하는 것임을 염두에 두어야 한다. 과거의 건설투자비용과 과거의 수입 및 교통량은 도로비용분담과 아무 상관이 없다.

사용자와 비사용자 간에 도로비용을 분담하는 방법에 대한 이론은 다음과 같이 여러 가지가 있다.²⁶⁾

(1) 역사적 방법

도로에 대한 비사용자의 몫을 현재까지의 자료로 추정하고 이를 이용하여 장래의 몫을 예측한다. 도로사용자는 그 나머지 비용을 부담하게 된다. 이 방법은 요즈음 거의 사용하지 않는다.

(2) 공익사업개념(public utility concept)

도로비용은 전적으로 도로사용자에게 공정하게 부담시켜야 하며 이는 전기, 수도와 같은 공익사업의 경우와 마찬가지로이다. 이 개념은 교통량이 많은 도로에서는 적용이 가능하나, 교통량이 적은 도로는 사용자 세금만으로 모든 도로비용을 충당하기에는 너무 무리이다.

(3) 표준비용 이론(standard-cost theory)

대표적인 도로시스템의 단위비용을 계산하여(톤·km 단위로) 이를 전체도로사용자에게 적용시켜 총 사용자 부담을 계산하고, 총 도로비용 중에서 이 금액을 뺀 부분을 비사용자 부담으로 한다. 그러나 여기서 문제가 되는 것은 대표적인 도로시스템이 고속도로, 간선도로, 혹은 국지도로 중에서 어떤 것을 택하느냐 하는 것이다. 정부의 일반예산이 지원된다면 총비용 중에서 이 부분을 뺀 나머지를 사용자와 비사용자에게 부담시킨다.

(4) 중점사용도 이론(predominant-use theory)

각 시설의 사용 정도 또는 받는 편익의 정도에 따라 비용을 할당하는 방법이다. 따라서 고속도로와 같은 고급도로의 비용은 사용자만이 부담하고, 지방부 접근도로 또는 주거지역도로와 같은 급이 낮은 도로의 비용은 비사용자에게 부담된다. 그러나 중급도로의 경우는 임의적인 판단에 맡겨야 한다는 결점이 있다. 또 결과적으로 급이 낮은 도로로부터는 사용자가 편익을 얻지 못하며, 고급도로로부터는 비사용자가 편익을 받지 못한다는 가정이므로 문제점이 있다.

(5) 비교사용도 이론(relative-use theory)

각 도로시스템은 접근기능, 통과기능, 근린연결기능을 가지며, 그 기능을 수행하는 정도에 따라 비용을 분담한다. 그러나 이 방법은 O-D, 통행길이, 통행목적, 통행노선 등에 관한 자료를 필요로 한다. 통과기능을 갖는 도로비용은 사용자에게, 접근 및 근린연결기능을 갖는 도로비용은 비사용자에게 부담시킨다. 그러나 어느 도로구간은 통과기능을 가지면서 접근기능도 가질 수 있으므로 임의적으로 판단해야 하는 문제가 생긴다.

이 방법은 사용자-비사용자 부담금 할당문제를 해결하는 매우 좋은 접근방법으로 알려지고 있으나, 가장 큰 결점은 역시 차량이용조사와 같은 자료를 수집해야 하는 것이다.

(6) Earnings-credit 이론

중점사용도 방법이나 비교사용도 방법과 비슷한 것으로, 분석방법은 중점사용도 방법과 유사하나 도로의 접근, 통과, 근린연결기능으로 분류하는 것이 비교사용도 방법과 같다. 이 방법은 두 개의 가정에서 출발한다. 첫 번째 가정은 통과교통위주의 고급도로의 건설, 운영, 유지관리비용은 도로사용자에게 부담된다는 것이며, 차량-km당 비용은 다른 도로에서도 마찬가지로 가정을 하여 이 값을 기준으로 각 도로의 사용자 부담금을 결정하고, 총비용 중에서 그 나머지를 비사용자 부담으로

한다. 이렇게 구한 결과는 최고해(top-drawer solution)라 한다. 두 번째 가정은 접근기능을 갖는 저급도로의 비용은 비사용자에게 부담된다는 것이며, 이때의 km당 비용은 다른 도로의 비사용자 부담을 계산하는 데도 동일하게 적용되며, 총비용 중에서 나머지 비용을 사용자 부담으로 간주한다. 이렇게 구한 결과를 최저해(bottom-drawer solution)라 한다. 이렇게 해서 구한 사용자 부담으로 차량-km당 비용을 구하고, 그중 가장 적은 값과 최고해의 차량-km당 비용을 평균하여 이 값으로 사용자 부담을 구하고, 이를 총비용에서 뺀 나머지를 비사용자 부담으로 한다. 이렇게 구한 결과를 타협해(compromise solution)라 한다.

이 방법은 도로를 관할행정단위별, 포장종류별, 교통량별로 분류하고, 또 기능별로 분류할 필요가 있다. 이 방법은 표준비용방법이나 비교사용도방법보다 합리적이고, 자의적인 판단을 많이 요구하지 않는다.

(7) 차등편익 이론(differential-benefit theory)

도로개선으로부터 얻은 편익을 근거로 각 이익집단에게 비용을 부담시키는 방법이다.

(8) 기초접근 이론(basic-access theory)

비사용자는 접근도로비용만을 부담하고 나머지는 모두 사용자가 부담한다.

(9) 한정용량 이론(restricted-capacity theory)

대부분의 도로가 무제한의 접근이 가능하므로 결국 도로의 용량이 감소된다. 이 용량감소로 인해 도로사용자로부터의 통행료 수입이 감소한다. 이 수입 감소 부분을 비사용자가 부담하고, 다른 모든 비용은 사용자가 부담한다.

2 차종별 도로사용자 부담

사용자 부담이 결정되면 이를 다시 각 차량 부류별로 할당해야 한다. 도로비용을 할당하는 데 사용되는 단위는 여러 가지가 있으나, 그 어느 것도 만족스러운 것은 아니다. 차량-km를 단위로 사용하면 소형승용차와 대형트럭이 같은 부담금을 물어야 한다는 모순이 생긴다. 톤-km 단위는 중차량에게 부담을 많이 지운다. 예를 들어 같은 거리에 대해서 2톤 승용차 10대와 20톤 트럭의 부담이 같지만, 승용차 10대가 소비하는 연료가 트럭 1대보다 많기 때문에 이 단위를 사용하면 교통효율을 저감시킨다.

도로사용자 부담금에 대한 이론 가운데 관련된 모든 차종을 다 만족시키는 것은 없으나, 그중에서도 다음에 설명되는 증분비용이 가장 합리적이다.

차량에 대한 세금기준과 세율을 정하는 것은 다음과 같은 이유로 해서 그리 간단하지 않다. 즉, (i) 같은 부류의 차종이라 하더라도 차량의 종류가 매우 다양하고, (ii) 차량별 도로이용률에 차이가 크며, (iii) 세금의 공정성을 판단할 기준이 없다. 차량에 따라 규격이나 성능이 다르므로 도로설계나 도로유지관리, 교통운영에 미치는 영향이 다르며, 연료소모율도 다르다. 이 연료소모율은 도로사용에 따른 부담금을 할당하는 데 가장 좋은 기준이 될 수 있으므로 매우 중요하다.

그러나 도로건설비와 유지관리비는 차종이나 차량의 도로이용도에 의해서만 영향을 받는 것이 아

나라 다른 요인에 의해서도 좌우되는 결합비용(joint cost)이다.

도로사용자 부담금의 종류에는 3가지, 즉 (i) 등록세(또는 면허세), (ii) 연료세, (iii) 중차량 특별 부과금이 있다. 승용차에 대한 등록세는 각 차량에 대해 일률적이거나 또는 중량, 마력, 차량금액, 차량연령, 또는 이들의 조합에 기준을 두고 정해진다. 화물차량에 대한 등록세는 공차중량, 총중량 등에 기준을 두며, 중량이 증가함에 따라 세금이 누진되는 경우가 많다. 연료세는 모든 차량에 대해서 리터당 일정한 세율을 적용한다. 그러나 디젤은 휘발유보다 일반적으로 세율을 높게 책정한다. 제3구조 세금이라 불리는 중차량 특별부과금은 연간주행거리가 많은 중차량(총중량)에 대해서 부과되는 것으로서 톤-km 또는 축-km를 기준으로 한다.

도로비용과 차량 및 차량이용도는 매우 다양하고 복잡하기 때문에 완전한 부담금 제도는 있을 수 없다. 차종 간의 부담을 결정하기 위해서 지금까지 일반적으로 사용되는 기준은 도로서비스 가치, 편익 및 도로비용 등으로서 이들은 차량-km, 축-km, 총 톤-km, 증분비용(차량규격과 중량에 관한 증분) 등을 측정하여 구한다. 사용자와 비사용자의 비용분담에서와 마찬가지로 차종 간의 공정한 부담금 할당을 결정하기 위해서 여러 가지 이론이나 방법이 사용된다.

(1) 증분비용 이론(increment-cost theory)

차등비용 이론(differential-cost theory)이라고도 하며, 도로는 승용차와 트럭이 같이 이용하도록 건설된다고 가정한다. 모든 차량이 승용차에 적용되는 기본비용을 부담하고(결합비용), 승용차를 제외한 모든 차량에 대하여 두 번째 중량이나 크기의 차량부류에 해당하는 부가비용을 배분한다(중량비용, weight cost). 이와 같은 과정은 가장 큰 중량과 크기를 가진 차종에 해당되는 증분비용을 그 차종에 할당할 때까지 계속된다. 이 이론은 모든 차종에 대한 결합비용이 다소 자의적으로 분포가 되며, 차량의 중량이나 크기와 도로설계수준 및 그 비용과의 관계에 대한 자료가 불충분하다는 결점이 있다.

(2) 차등편익 이론(differential-benefit theory)

도로개선으로 얻는 편익은 도로가 제공하는 서비스의 기준이다. 도로의 개선안을 분석하여 각 사용자 부류가 갖는 이득, 즉 거리단축, 포장개선, 경사 및 선형개선 등을 통한 이득을 계산할 수 있으며, 부담금은 이러한 편익에 비례한다. 이 방법은 이론적으로는 나무랄 데가 없으나, 자료수집이 지나치게 복잡하여 오늘날까지 이 방법을 이용한 예는 그리 많지 않다.

(3) 톤-km 이론

차량의 총중량과 통행거리를 함께 고려하여 부담금을 산정하는 방법이다. 따라서 총중량 20톤인 트럭은 같은 거리에 대해 2톤 승용차보다 10배의 세금을 물게 된다. 이 이론은 제3구조 세금(중차량 특별부과금)과 혼동해서는 안 되며, 세금이 납세자 기록의 정확도와 정직성에 전적으로 좌우되므로 행정적으로 공정하게 되기가 어렵다는 결점이 있다.

(4) 비용함수 이론(cost function theory)

증분비용과 톤-km 이론을 절충한 것으로서, 도로비용을 3가지 범주로 나눈다. 즉 (i) 도로사용

도에 관계되는 비용, (ii) 사용도, 중량, 규격 그 어느 것보다도 상관없는 비용, (iii) 차량의 중량과 규격에 관계되는 비용이다. 처음의 두 개는 증분비용 이론의 결합비용에 따라 이와 같은 방법으로 할당된다. 규격과 중량비용은 톤-km 기준으로 모든 차량에 분배가 되나, 앞에서 설명한 증분비용 이론에서는 이 모든 비용이 중차량에 할당된다.

(5) 운행비용 이론(operating cost theory)

단위차량당 운행비용을 기준으로 하는 이론이다. 톤-km 이론에서처럼 도로이용에 대한 부담이며, 도로비용이나 편익은 고려하지 않는다. 차량운행비용은 중량에 따라 증가하나, 톤-km당 비용은 감소한다는 것이 일반적으로 알려진 사실이기 때문에, 만약 승용차에 대한 세금이 어느 정해진 수준에서 고정된다면 운행비용 이론에 의한 트럭세금은 톤-km 이론에 의한 세금보다 적을 것이다.

(6) 표준비용 이론(standard cost theory)

도로비용을 사용자와 비사용자 간에 분담하는 문제에서 언급한 것과 같은 방법으로 차종별 분담을 한다. 각 차종의 톤-km와 중량을 도로개선계획의 중간 연도에 대해서 추정하고, 대표적인 도로 시스템의 단위비용인 표준율을 이 추정된 톤-km에 적용한다. 이 방법은 비용과 편익과는 밀접한 관계가 없으므로 합리성을 정당화할 수 없다.

증분비용 이론, 차등편익 이론, 톤-km 이론 및 비용함수 이론을 비교하면 다음과 같다. 즉, 4개의 이론에 의한 승용차 및 트럭의 부담금을 비교해 볼 때, 차등편익 이론에 의하면 승용차 부담이 가장 크고 트럭 부담이 가장 작다. 또 톤-km 이론에 의하면 다른 이론에 비해 승용차 부담이 가장 작고 트럭 부담이 가장 크며, 승용차와 트럭의 부담금 차이가 가장 크다. 비용함수 이론에 의하면 그 결과가 톤-km 이론에 의한 것과 매우 가까우며, 증분비용 이론에 의하면 승용차에 대한 부담이 두 번째로 크고 트럭의 부담은 두 번째로 작다.

19.5 교통프로젝트의 경제성 평가 및 그 사례

교통프로젝트의 평가는 공학, 경영, 재무 및 경제적인 관점을 내포하고 있다. 공학적인 측면으로서는 자본비용과 운영비용의 추정뿐만 아니라 기술적인 건설과정과 건설된 후의 프로젝트의 운영을 취급한다. 경영적인 측면은 그 프로젝트를 건설하고 운영하는 데 있어서의 관리 및 인적문제를 취급한다. 재무분석의 목적은 그 기업이 금융부채를 상환할 수 있는지, 또는 투자된 자본에 대한 합리적인 수익을 얻을 수 있는지, 그리고 경우에 따라서는 장래 투자에 사용할 수입을 올릴 수 있는지를 결정한다. 재무분석은 그 기업의 비용과 수입에 초점을 맞추어 수입과 지출 일람표 및 대차대조표로 종합된다.

어떤 프로젝트의 경제성 평가의 근본목적은 그 프로젝트의 순편익이 다른 한계투자기회로부터 얻을 수 있는 것보다 크지 작음을 알기 위하여 국가 전반의 관점에서 경제적 비용과 편익을 측정·

비교하는 것이다. 이 비용과 편익은 그 프로젝트를 운영하는 기업의 비용과 수입과는 큰 차이가 있을 수 있다. 물론 통행 증가로 인한 문화적 기회라든가 이동성의 증가로 인한 군사적, 정치적 이점 또는 볼리점과 같이 경제적 편익 이외의 다른 편익도 많이 있다. 그러나 이들은 경제적 발전과는 직접적인 관련이 없으므로 이 장에서는 취급하지 않는다. 그러나 이와 같은 목적들이 교통수요의 증가를 초래하게 되면 그들도 사실상 경제성 평가에 포함되어야 한다.

프로젝트 평가에 있어서 공학적, 경영, 재무, 경제적인 네 가지 요소는 상호 밀접한 관련을 가지고 있다. 만약 공학자가 비용을 과소추정하면 그 기업의 재무상태는 어려움을 당하며, 그 프로젝트는 경제적으로 타당성을 잃을 수도 있다. 만약 그 프로젝트가 잘못 관리되면 그 비용이 커져 수입과 편익이 적어질 수 있다. 사용자는 그들이 받는 편익보다 더 많이 지불하지 않으려 하고, 또 수입은 편익의 중요한 지표이기 때문에 편익과 수입의 추정은 밀접한 관계가 있다.

1 프로젝트의 정의

프로젝트는 경제적 및 기술적으로 타당한 최소투자대상물이다. 예를 들어 광주에서 대구까지의 도로계획을 생각할 때, 이것은 한 프로젝트가 아니라 여러 개의 프로젝트이다. 이 도로의 각 구간을 이용하는 교통량은 크게 다르기 때문에 개선방법도 다르다. 그러나 어떤 도로구간을 개선하면 이에 따른 유발교통이 다른 구간에 영향을 미치므로 이러한 사실은 평가에서 고려되어야 한다.

제안된 투자대상을 적절히 구분하여 프로젝트화하는 일은 모든 최소투자 가능성이 모두 다 분석될 수 없기 때문에 실무경험과 판단에 크게 의존해야 한다. 투자대상물을 충분히 세분화하여 프로젝트화하지 못하면 한 프로젝트의 큰 편익이 다른 프로젝트의 손해까지도 정당화한다. 예를 들어 어느 항구부두에 두 개의 접안대(berth)를 한꺼번에 계획한다고 할 때, 그 수익률이 18%로서 경제적 타당성이 있다고 하자(MARR이 12%라고 가정). 그러나 이것을 두 개의 프로젝트로 분리해서 분석하면 첫 번째 접안대의 수익률은 24%이어서 타당성이 있으나, 그 후 두 번째 접안대를 추가로 건설할 때의 수익률은 8%밖에 되지 않는다면 두 번째 접안대 건설은 분명히 타당성이 없다.

2 도로부문 프로그램의 역할

어떤 교통프로젝트를 평가하기 전에 두 개의 예비단계를 거치는 것이 매우 바람직하며, 이는 또 그 프로젝트의 대안들을 검토하는 노력을 줄이기 위해서 필수적이다. 첫 번째 단계는 국가의 전반적인 경제조사(economic survey)로서, 이것은 경제성장률과 이에 따른 교통수요증가율과 같은 것을 알아내어 국가의 전반적인 교통필요성을 입증하는 기능을 가지며, 다른 경제부문의 요구사항에 대항해서 교통필요성을 평가하기 위한 기초를 제공하는 기능을 갖는다. 이러한 경제조사는 정확할 수가 없고 정성적인 판단에 크게 의존한다. 이 조사는 또 산업의 위치가 변함에 따라 총 교통수요가 감소될 수 있는지, 또 그러기 위해서 필요한 비용이 얼마인지를 판단하는 데 도움을 준다.

두 번째 단계는 교통부문 내의 우선순위를 결정하기 위한 세부 교통조사(transportation survey)이다. 이러한 조사는 중요성별로 도로의 리스트를 작성하는 것처럼 각 교통수단에 대한 우선순위의 틀을 수립할 뿐만 아니라, 각 수단이 갖는 적합한 역할과 우선순위를 나타낸다.

이와 같은 프로그램은 프로젝트가 세부적으로 평가될 때 변경될 수도 있으며, 계속적으로 최신의 것으로 유지되어야 한다. 전반적인 경제조사와 교통조사가 프로젝트 평가에 앞서 행해지지 않으면 그 평가는 불완전할 수도 있고, 또 자원배분을 그르칠 위험이 커진다.

3 교통가격의 적절성

교통프로젝트의 경제적 비용과 편익을 결정하고 이들을 다른 투자기회와 비교하기 위해서는 이들을 금액으로 나타내야 한다. 주요경제부문에서는 경쟁이 심하지 않을 경우 시장가격이 참비용을 반영하지 않기 때문에 문제가 있다. 일반적으로 개발도상국에서는 교통분야에 두 개의 문제점이 존재한다. 그 첫 번째 문제점으로 어떤 교통서비스는 그 특성상 소수독점 또는 완전독점되기 때문에 이 서비스가격은 비용과 직접적인 관계가 없다는 사실이다. 가장 간단한 예로 철도에서 역사적으로 많이 사용되어 온 서비스가치이론에 의한 운임을 들 수 있다. 두 번째 문제점으로는 많은 교통서비스가 정부의 직접 또는 간접적인 지원금을 받고 있다는 것이다. 이에 대한 일반적인 예는 도로의 건설이다. 개발도상국에서는 연료세와 수익자에게 부가되는 기타부담금으로 도로의 비용(자본비용, 유지관리비, 행정비 포함)을 다 보상하지 못한다. 설사 모든 비용을 보상한다 하더라도 트럭, 버스 및 승용차 등의 교통서비스비용과 사용자 부담금과는 직접적인 관계가 없으며, 또 어떤 도로의 통행료와 그 도로의 비용과도 직접적인 관계가 없다.

4 자료의 적절성

프로젝트의 경제성 평가에 사용되는 자료의 정확성은 평가의 결과에 큰 영향을 미친다. 필요한 자료는 단순한 교통량 자료뿐만 아니라 기종점자료, 도로를 이용하는 화물의 종류에 관한 자료도 필요하다. 뿐만 아니라 각종 도로에서의 차량운행비용에 관한 자료 및 포장종류에 따른 유지관리비용에 관한 자료도 필요하다. 이러한 자료가 없이 평가를 하면 결과적으로 대부분의 신설도로투자와 유지관리 예산사용은 우선순위에 대한 정밀한 분석 없이 이루어지게 된다. 철도도 일반적으로 화물별 각 노선의 운행비용을 잘 모르며, 노선별 교통량 역시 불완전한 경우가 많고, 기종점자료를 체계적으로 수집하는 일이 드물다. 결과적으로 철도망의 어느 부분이 수익이 적는지 또는 철도수송화물이 비용이 적게 드는 다른 수단, 즉 도로나 해운을 이용할 수는 없는지를 판단할 수가 없다.

과거에는 지도로부터 주요 산업 및 인구밀집지의 위치를 참고로 하거나 또는 애로구간을 관측하거나 예측하여 간단히 투자를 결정할 수 있었다. 그러나 지금은 철도망과 도로망이 점점 복잡해지고, 또 항공교통도 포함되기 때문에 이러한 방법은 점차 정확성이 떨어지게 되었다. 또 그와 같은 단순한 접근방법으로는 시간이 경과함에 따라 수송수단 간 또는 타분야와 수송분야 간의 우선순위를 잘 판단할 수 없게 되었다. 앞으로는 더욱 자세하고 정확한 자료를 근거로 하여 교통프로젝트의 경제성을 체계적으로 평가해야 할 필요성이 점점 더 절실해지고 있다(제16장 3, 4절 참조).

19.5.1 경제적 비용

1 잠재가격의 사용

프로젝트의 경제적 비용을 측정하는 것은 경제적 편익을 측정하는 것보다 훨씬 간단하며, 이 경제적 비용은 실제비용을 보정해 줌으로써 구한다. 보정해 주어야 할 비용은 외환, 세금, 노임 및 이자 부분이다.

(1) 외환

가장 중요한 보정은 외국에서 수입하는 것에 대한 평가를 할 때 필요하다. 왜냐하면 정부공식환율은 외환의 희소가치를 제대로 반영하지 못하기 때문이다. 결과적으로 수입의 비용은 고의적으로 낮게 책정되나, 이에 대한 수요는 매우 높아 외환의 수요와 공급균형을 유지하기 위한 다른 배급구조를 요한다. 뒤에 나오는 도로건설에 대한 투자분석 사례에서는 외환의 경제적 비용을 계산하는 데 정부환율의 1.2배를 사용했다. 이것은 모든 외환비용, 즉 외국에서 조달되는 품목뿐만 아니라 휘발유와 같이 국내에서 조달되는 외환부분에도 적용된다. 만약 프로젝트가 외환수익을 포함하면 외환비용과 같은 방법으로 보정되어야 한다.

(2) 세금

이것은 판매세 또는 간접세에 관한 것이다. 예를 들어 휘발유세는 세금을 내는 사람의 비용이지 국가가 부담하는 경제적 비용은 아니다. 이는 세금의 증가가 어떤 양의 휘발유를 생산하는 데 더 많은 경제적 자원이 소모된다는 것을 의미하지 않기 때문이다. 마찬가지로 차량면허세와 수입관세 역시 고려대상에서 제외되어야 한다.

(3) 노임

최저임금제는 노임이 노동의 실제비용을 정확히 반영하지 못하는 결과를 초래한다. 실업자나 유희노동력이 많으면 노동의 비용은 실제 노임보다 적게 된다. 이와 같은 상황이 상당 기간 계속되면 비숙련 노동비용은 실제 지불노임보다 낮게 계산되어야 한다. 반면에 숙련 노동비용은 높을 수도 있다.

그러나 이와 같은 노임에 대한 보정은 그 프로젝트 지역의 노동여건을 주의 깊게 조사한 후에 이루어져야 한다. 농업에 종사하는 실업인구는 계절별 변동이 크며, 농업노동이 건설공사로 이동되면 농사에 지장을 받으므로 프로젝트의 건설시기와 농사시기는 적절히 조정되어야 한다. 이것이 어려우면 프로젝트의 완성이 지연될 수도 있다. 더욱이 비숙련 노동자는 이동성이 적으므로 어떤 지역의 유희노동력과 다른 지역의 노동력 부족현상이 공존할 수도 있다. 만약 프로젝트가 노동력이 부족한 지역에서 이루어지면 잠재가격은 의미가 없다. 또 충분히 숙련된 노동력을 얻을 수 있다면 비숙련 노동력을 사용하면서 훈련을 시킬 수밖에 없고, 비용과 생산성을 추정함에 있어서 훈련비용과 그 노동력의 낮은 생산성을 감안한다면 노임에 대한 보정은 할 필요가 없다.

편익의 측면에서도 같은 경우를 생각할 수 있다. 예를 들어 노동력 절약을 위해 사용되는 장비의 편익을 측정할 때, 만약 대체되는 노동력이 그 장비의 경제수명 동안 실업상태로 남아 있다면 실제

편익은 훨씬 적어진다. 편익의 관점에서 노동력의 잠재가격은 비용 측면에 사용되는 잠재가격과 반드시 어떤 관계를 가지는 것은 아니다. 왜냐하면 비용과 편익 계산에는 서로 다른 시기에 완전히 다른 종류의 노동력이 포함되기 때문이다.

(4) 이자

실제 지불된 이자는 자본의 재무비용이며 그것은 경제적 비용, 즉 자본의 기회비용과는 상관이 없다. 교통에 투자된 정부의 투자기금은 정부가 부담하는 비용(이자)보다 낮은 이자율로 이용 가능하다. 그리고 설사 정부의 비용(이자)을 그들이 부담한다고 할지라도, 만약 그 기금이 세금이나 혹은 은행으로부터 시장이자율보다 낮은 이자율로 정부가 비는 것과 같이, 직접적 혹은 반강제적으로 정부에서 모은 것이라면 정부의 비용은 실제 경제비용을 나타내지는 않는다. 외국으로부터 차용한 기금인 경우는 자본의 기회비용보다 훨씬 낮은 이자율을 묻다.

자본의 경제적 비용은 자유시장이 아니라면 결정하기가 매우 어렵다. 왜냐하면 이자율은 인플레이션이나 위험부담을 반영하기 때문이다.

2 기타 보정

잠재가격을 사용하는 것 외에도 경제적 평가에 필요한 기타 보정은 다음과 같은 것이 있다.

(1) 임시비용

프로젝트 비용을 계산하는 데 포함되는 예측할 수 없는 비용의 종류에는 두 가지가 있다. 첫째는 사업이 생각한 것보다 어려워 예상보다 비용이 많이 드는 것이다. 둘째는 인플레이션이 노임과 물가를 상승시키기 때문에 비용이 예상보다 증가하는 것이다. 경제분석에서는 이 두 번째 비용이 포함되지 않을 뿐만 아니라 편익가치의 인플레이션도 고려해서는 안 된다. 그러나 도시 내 지가가 대폭 상승하는 것과 같은 상대가격의 변화는 그것이 비용과 편익에 대해서 각각 다른 영향을 미칠 것 같으면 포함시킨다.

(2) 공사 중의 이자

그 투자가 철도의 장비 구입이나 유료도로건설 때와 같이 차관이나 대부에 의한 것이라면 공사기간 중의 이자는 프로젝트 비용에 포함되나, 대부분의 도로에서처럼 일반회계에서 투자재원이 조달되면 그 이자는 프로젝트 비용에 포함되지 않는다. 노동력, 재료, 장비 등 실제 사용된 자원이 자금의 출처와 상관없이 동일하기 때문에 프로젝트의 경제적 비용에 관해서 생각한다면 이러한 자금조달방법의 차이는 그다지 중요하지 않다. 이들 경제자원을 획득하는 수단은 돈이기 때문에 이자는 그 프로젝트의 경제적 비용에 포함되어서는 안 된다.

(3) 프로젝트의 범위

이 문제는 프로젝트에 관련된 기관이 프로젝트의 범위를 충분히 감안하지 않기 때문에 생긴다. 예를 들면 항만건설기관이 프로젝트를 계획할 때 항만건설비용만을 고려하고 그 항만에 접근하는 접근도로의 비용을 고려하지 않는 경우가 있다. 접근도로가 그 항만 사용에 필수적인 것이라면 항만

건설기관의 재무분석에서는 제외될지언정 경제성 평가에서는 프로젝트 비용에 반드시 포함되어야 한다.

(4) 매몰비용

어떤 자산에 투입된 매몰비용은 그 자산이 다른 목적에 사용될 수 없으면 고려대상에서 제외된다. 그러나 예를 들어 도로프로젝트에서 다른 곳에 쓰다 남은 시멘트를 돈을 지불하지 않고 사용한다 하더라도 그 시멘트는 다른 용도에 사용될 수 있으므로 경제적 비용에 포함된다.

(5) 외환비용

외국차관으로 수행되는 프로젝트에 대해서는 비용지출의 시기에 관해서 특별한 문제점이 야기된다. 프로젝트가 국내자본에 의해 수행된다면 자본이 사용되는 해에 국가가 이를 마련하므로 경제적 비용에서 추가적인 보정이 필요 없다. 그러나 외국자본을 사용하는 경우 국가가 부담하는 비용은 만약 그 돈이 그 프로젝트에 사용되지 않고 다른 목적에 사용될 때도 같은 금액이 외국자본을 차용할 수 있는가에 달려 있다. 그 차관규모는 차관을 얻는 국가의 지불능력에 제약을 받는다. 그러므로 이와 같은 상황에서는 경제적 비용이 그 프로젝트가 수행되는 연도에 발생한 것으로 보는 것이 좋다. 따라서 국내든 국외자본이든 경제적 비용계산에서 보정은 할 필요가 없다. 그러나 제약 없이 돈을 차용할 수 있는 국가의 경우, 프로젝트의 비용은 외국차관이 상환되고 이자가 지불되는 시기에 발생한다고 본다.

19.5.2 교통량 예측

교통투자의 편익을 측정하는 첫 단계는 그 프로젝트의 서비스수명 동안의 장래 교통량을 추정하는 것이다. 교통량 예측은 세 가지 과정으로 이루어진다. 첫 번째는 수입과 수출을 포함한 장래 농업, 공업, 광업의 생산과 소비의 크기와 그 위치를 추정하는 것이다. 이와 함께 인구 및 그 배치에 대한 추정도 이루어진다. 두 번째는 이들 각 산업에서 생산되는 산출물과 인구를 기종점별 교통량으로 환산한다. 끝으로 이 교통량을 가장 효율적으로 수송할 수 있는 교통수단에 분포시킨다. 지역별 산출물과 교통량은 수송비용에 어느 정도 좌우되므로 이 세 과정은 상호연관성이 있다.

1 장래 교통량 추정

장래 교통은 공업, 농업, 광업, 기타 경제부문의 발전과 인구에 좌우되므로 교통량 추정은 그 지역의 개발예측과 다를 바 없다. 그러므로 장래의 전반적인 생산과 소비뿐만 아니라 그것이 일어나는 위치까지도 추정해야 할 필요가 있다. 장래의 생산 및 소비를 추정한 다음에는 이를 교통량으로 바꿔 주어야 한다. 이 작업은 과거 산출물과 소비, 그리고 교통수요관계를 근거로 하여 어떤 교통에 대한 교통수단 분담의 감소, 상대비용의 변화 등과 같은 미래의 변화에 대한 보정을 해준다.

생산과 소비와의 관계나 이들과 교통량과의 관계는 수송에 부과되는 요금이나 운임에 영향을 받는다. 그러나 수송수요의 가격탄력성에 대해서 알려진 것이 거의 없다. 일반적으로 화물운송운임의

변화에 대한 영향은 염가상품이 고가상품보다 더 많이 받는다. 또 장기적으로 화물운임의 변화는 신규 산업의 위치에 영향을 주므로 가격탄력성은 시간에 따라 차이가 난다. 어떤 교통수단의 가격탄력성은 경쟁수단의 운임에도 영향을 받는다. 더욱이 운임은 기타 유통비용, 즉 화물의 손상이나 지체에 의해 발생하는 비용보다 덜 중요하다. 승객교통수요는 가능한 요금 변동 범위 내에서 볼 때 매우 비탄력적이다. 그러나 만약 어떤 프로젝트가 수송비용을 현저하게 감소시키면 알려진 것보다 더 큰 영향을 교통수요에 미칠 수도 있다.

교통발생요인과 이에 따른 교통량 간의 수학적 관계를 설명하는 교통모델이 많이 개발되고 있다. 그러나 이 요인들은 매우 복잡할 뿐만 아니라, 그 모델을 설정하기가 매우 어렵고 많은 시간을 필요로 한다. 이 어려움 중의 하나는 같은 상품이라 하더라도 다 똑같은 용도를 가진 것이 아니기 때문에 모든 상품을 용도별로 세분해야 한다는 것이다. 다른 또 하나의 어려움은 어떤 상품의 경우 유통비용이 적은 곳으로 반드시 수송되는 것이 아니고 주문생산품과 같이 수송비용이 높더라도 이를 충분히 보상해 주는 곳으로 이동된다는 것이다. 물론 교통모델을 만들 때 이와 같은 어려움을 고려할 수도 있으나, 훨씬 더 복잡하고 시간이 오래 걸린다. 승객수송에서도 같은 문제가 제기된다. 즉 승객마다 시간가치가 다르며, 또 시간가치에 대한 수요탄력성을 구하기가 어렵다.

2 수단분담 추정

일단 총 교통량이 추정되면 마지막 단계는 이들이 각 교통수단을 얼마나 이용하는가를 추정한다. 원칙적으로 교통을 그 종류에 따라 수송비용이 가장 적은 교통수단으로 배분하나, 여기에는 몇 가지 문제점이 있다. 첫째, 수송비용을 알아내기가 어렵다. 왜냐하면 이것에 관해서 관련 자료가 별로 없고, 또 그 비용이 개인적인 재무비용과는 다른 경제적 비용을 말하기 때문이다. 노임이라든가 자본 비용 또는 외환비용에 관한 경제적 비용의 보정은 앞에서 설명한 바 있다. 둘째, 그 운임이 수송비용을 반영하지 않는다면 실제로는 교통이 가장 적은 비용의 교통수단을 이용한다고 볼 수 없다. 이와 같은 경우는 상품의 가치에 따라 운임을 매기는 철도에서 볼 수 있다. 도로나 항만의 사용자 부담금 역시 비용을 반영하는 경우가 드물다. 프로젝트를 평가할 때 경제적 편익을 추정하기 위해서는 상대적인 경제적 비용을 사용해야 하나, 교통수단 간의 장래 교통배분을 추정하기 위해서는 수단 간의 상대적인 재정부담을 비교한다. 셋째, 여러 수송수단의 서비스는 그 질이 서로 다르며, 이들을 정량화할 수 없기 때문에 이 차이를 비용으로 나타낼 수 없다는 사실이다. 예를 들어 도로교통은 철도서비스에 비해 door-to-door 서비스를 제공하고, 일반적으로 수송시간을 절약하며, 수송빈도와 신뢰성이 크고, 손상 및 분실의 염려가 적으며, 신속한 claim 처리를 한다는 장점이 있다. 이러한 사실은 일반화물에서 특히 중요하다. 도로의 직접수송비용이 사실상 철도에 비해 크지만, 도로를 이용하게 되는 이유는 바로 이와 같은 서비스의 질적 차이 때문이다.

수송수단 간의 분담을 좌우하는 것은 수송비용이 아니라 유통비용이라는 사실은 매우 중요하다. 프로젝트 평가에서 수송수단의 총 유통비용을 고려하지 않고 수송비용만을 고려하여 수단 간 분담을 추정한다면 철도나 해운이 도로에 비해 과다하게 추정된다. 승객수송분담에서도 마찬가지로 각 수송수단의 비용뿐만 아니라 정시성, 쾌적성, 편리성 등의 차이를 고려해야 한다.

그러나 다행히도 장기교통예측을 용이하게 하는 여러 가지 조건도 있다. 첫째, 철도와 해운은 석탄, 원광석, 곡물과 같은 살화물을 주로 취급하기 때문에 분석을 할 때 이러한 화물만 다룬다. 둘째, 교통투자의 대부분이 일괄성을 가지고 있다. 예를 들어 항만의 화물 접안대(berth) 1개가 1년에 일 반화물 80,000톤을 처리할 때 그 건설의 타당성을 가진다고 한다면, 이를 효과적으로 운영하면 150,000톤까지 처리할 수도 있기 때문에 교통량이 80,000톤이나 혹은 125,000톤이나 하는 것은 따질 필요가 없을 것이다. 살화물을 취급할 경우에는 그 범위가 300,000톤에서 100만 톤 이상에 이를 수도 있다. 마찬가지로 포장된 2차로 도로가 하루에 3,000대의 차량을 처리할 수 있다면, 교통량 추정치가 1,000~2,000대일 때도 같은 크기의 도로가 필요하다. 그러나 교통량 추정치가 접안대 1개와 접안대 2개 혹은 2차로와 4차로 도로 건설기준의 경계값을 가질 때는 이 일괄성은 어려운 문제를 야기한다. 이와 같은 일괄성의 문제점은 단계적 건설을 통하여 줄일 수 있다. 셋째, 단기 및 중기의 장래 교통은 기존교통량과 큰 차이가 없으며, 또 공업, 농업의 위치 및 인구분포의 기본 패턴이 급방 변하는 것이 아니다. 넷째, 교통량 예측은 그 프로젝트가 용량에 도달할 때까지만 필요하다. 왜냐하면 용량에 도달한 후에는 교통량의 증가가 있을 수 없기 때문이다. 다섯째, 장래의 편익은 자본의 기회비용으로 할인되기 때문에 훨씬 먼 장래에 대한 예측의 정확성은 할인이 높을수록 작아진다.

3 교통의 종류

프로젝트의 편익을 구하려면 장래 교통을 자연증가교통, 전환교통, 유발교통으로 나누어야 한다. 자연증가교통이란 새로운 투자와 상관없이 기존시설을 이용하는 교통의 증가를 말한다. 자연교통에 의한 편익은 자연증가교통이 기존도로를 이용할 때의 높은 운행비용에 비해 신설도로의 낮은 운행 비용으로부터 얻는 이득이다.

두 번째, 전환교통이란 다른 교통수단으로부터 또는 같은 수단의 다른 도로로부터 신설도로로 전환되는 교통이다(더욱 엄밀히 구별하면 수단이 바뀌는 것을 전이교통, 노선이 바뀌는 것을 전환교통이라 한다). 전환교통에 대한 편익은 기존도로 또는 교통수단의 교통비용과 신설도로에서의 교통비용 간의 차이로 구한다. 전환되는 교통량은 상대적인 경제적 비용에 좌우되는 것이 아니라 실제 재정적 부담에 좌우된다. 실제로 많은 사람들이 실지출비용(out-of-pocket cost)에 따라 교통수단을 선택하기 때문에, 이 비용과 기존철도요금의 차이는 철도로부터 도로로 전환되는 승객교통량을 크게 좌우한다. 전환교통량을 좌우하는 것은 또 단순히 수송부담의 차이뿐만 아니라 총 유통비용의 차이도 있기 때문에 시간절약, 파손감소, 낮은 보험료 등도 고려되어야 한다. 비교적 가치가 큰 화물에 대해서는 이와 같은 유통비용의 중요성을 과소평가하는 경향이 있으나, 석탄이나 원광과 같은 살화물에 대해서는 그렇지 않다.

세 번째 종류는 수송비용의 감소 결과로 인하여 새로이 발생되는 유발교통이다. 이것은 값싼 수송 비용 때문에 생기는 산업 및 농업생산의 증가로 인한 교통과, 생산 증가와는 상관없이 지금까지 국 지적으로 판매되던 상품이 더 나은 가격을 받을 수 있는 시장으로 수송되는 교통으로 이루어진다. 그러나 어떤 교통투자로 인해 생기는 이 유발교통을 추정하기는 매우 어렵다.

19.5.3 경제적 편익

교통프로젝트의 경제적 편익을 측정하기란 앞에서 언급한 경제적 비용을 추정하기보다 훨씬 더 어렵다. 그 이유는 첫째, 도로개선으로 인한 쾌적성 및 편리성의 증가 또는 시간 단축 등과 같이 직접적인 편익이라 할지라도 이들은 시장가격이 존재하지 않으므로 금액으로 나타내기가 어렵다. 둘째, 교통비용의 절감과 같은 대부분의 편익은 장기간에 걸쳐 수많은 사람에게 혜택을 주므로 장기 예측이 어렵다. 셋째, 교통개선으로 인한 경제의 활성화와 같이 간접적인 편익이 많고, 또 이를 실현하기 위해서 때로는 교통 이외의 분야에 투자해야 할 필요성도 있다.

그러나 가장 큰 어려움은 편익을 추정하는 데 있어서 프로젝트의 차로대안과 비교해야 한다는 사실에 있다. 만약 그렇지 않거나 혹은 프로젝트가 세 번째 또는 네 번째로 좋은 대안과 비교하게 된다면 차로대안과 비교할 때보다 편익이 과다 평가된다. 그러나 차로대안이 무엇인가를 결정하는 것은 까다로운 개념상의 문제를 수반할 수 있다. 예를 들어 철도의 승객수송이 지나치게 혼잡하다면, 이를 해결하는 방법은 차량대수를 늘리거나, 요금을 올려 수요를 줄이거나, 요금을 올리고 버스를 증가시키거나, 또는 아무런 조치를 취하지 않는 4가지 대안이 있다. 마찬가지로 만약 시장가치가 혼잡하다면 그 해결책은 도로를 넓히거나, 소통에 장애가 되는 자전거나 차량의 통행을 금지시키거나, 교통신호 및 통제방법을 개선하거나, 주차를 금지시키거나, 교통에 부과금을 매기거나, 또는 이들 대안들을 조합하는 방법이 있다. 지방도로를 확장하는 데 있어서의 대안은 한꺼번에 7m 폭의 포장을 하거나, 혹은 5.4m를 먼저 확장하고 나서 장차 다시 추가로 확장하는 방법이 있다. 이와 같은 대안들을 모두 고려한다는 것은 비용과 시간이 너무 많이 소요되므로 철저한 검토를 요하는 대안을 골라내기 위해서는 사려 깊은 판단이 요구된다.

교통프로젝트로부터 얻을 수 있는 가장 중요한 편익은 (i) 새로운 시설의 사용자나 그 소유자가 얻는 운행비용의 감소와 기존시설을 그대로 이용하는 사람이 새로운 시설로 말미암아 혼잡이 감소됨으로 얻는 운행비용 감소, (ii) 경제개발의 활성화, (iii) 승객과 화물의 수송시간절약, (iv) 사고감소와 파손감소, (v) 쾌적성 및 편리성 증대 등이다. 이러한 편익은 모든 프로젝트에서 다 발생하는 것은 아니며, 또 프로젝트에 따라 그 편익의 크기도 다르다. 운행비용의 감소는 다른 편익에 비해 금액화하기도 쉬우나, 쾌적성과 편리성은 사회적 가치가 비교적 작으며 금액화하기도 어렵다.

편익의 분배가 편익의 전체 크기에 영향을 미친다는 사실은 매우 중요하다. 예를 들어 철도를 개선하여 비용을 낮추었음에도 불구하고 이전의 운임을 그대로 유지한다면 소비자는 직접적인 편익을 얻지 못하는 대신 철도는 높은 수입을 올리게 된다. 높은 수입으로 인한 경제적 효과와 낮은 운임에 의한 소비자 편익을 비교하여 경제에 미치는 순편익을 결정한다. 만약 운임을 낮추지 않으면 교통개선을 하더라도 새로운 교통을 유발하지 않을 수도 있다는 사실은 매우 중요하다. 편익의 분배가 전체 편익의 규모를 줄이거나 혹은 다른 공공정책과 조화를 이루지 않는다고 생각된다면 문제는 더욱 깊이 검토되어야 한다.

1 운행비용 감소

가장 중요하고 직접적이며 가장 쉽게 금액으로 환산할 수 있는 편익은 교통비용의 감소이다. 수송비용의 절감으로 인한 편익은 시설의 사용자 또는 소유자가 얻는 것이지만, 경쟁 때문에 또는 이윤을 극대화시키려는 노력으로 말미암아 그 편익이 생산자, 화주 및 소비자 간에 적절히 분배된다. 그래서 수송비용 절감은 시설의 사용자뿐만 아니라 국가 전체에 이익을 준다.

(1) 자연증가교통

교통투자의 경제적 편익을 구할 때는 반드시 경과시간을 고려해야 한다. 자연증가교통량은 시간이 지날수록 커지므로 차량당 혼잡비용도 시간이 지남에 따라 증가한다. 그러므로 도로프로젝트(특히 도로개선)에서 자연증가교통에 의한 편익은 그 도로가 개선되지 않을 때의 차량운행비용과 개선되었을 때의 차량운행비용의 차이이며, 그 차이는 매년 증가한다.

(2) 전환교통

다른 교통수단이나 혹은 다른 노선으로부터 새로 건설한 시설로 전환되는 교통에 대한 편익은 기존 교통수단 또는 기존 노선에서의 교통비용과 전환된 후의 교통비용의 차이로 구한다. 그러나 여기서 주의해야 할 점이 두 가지 있다. 첫 번째는 여기에 관련된 비용은 새로운 시설을 이용할 때 절약되는 교통비용이라는 것이다. 예를 들어 교통이 철도에서 도로로 전환된다면, 그 편익은 신설도로에서의 교통비용과 철도운임 또는 평균철도비용을 비교하는 것이 아니라 철도로부터 전환되는 교통의 한계비용과 신설도로에서의 교통비용을 비교하여 구한다. 만약 전환교통이 전체 철도교통의 극히 적은 부분이고, 또 철도의 용량에 여유가 있다면 한계비용은 평균비용보다 훨씬 적으므로 전환으로 인한 절약도 적다.

두 번째 문제는 교통수단의 차이에 따라 서비스의 종류가 달라지므로 이를 비교하기 위해서는 특별한 고려가 필요하다는 것이다. 예를 들어 도로와 연결되는 연안해운교통의 비용은 수송비용뿐만 아니라 하역비용, 보관료, 보험, 파손, 지체 등과 같은 추가적인 비용 역시 고려해야 한다. 이 추가비용은 기본수송비용의 50%가 넘을 수도 있다. 마찬가지로 철도와 도로수송의 비용을 비교할 때 트럭이 door-to-door 서비스를 제공하는 반면에, 철도는 두 번 하역을 함으로써 직접비용이 증가함은 물론 파손과 지체비용을 야기한다.

전환교통의 또 다른 종류는 버스를 이용한 다음 승용차로 갈아타는 것처럼 같은 노선에서 교통수단을 바꾸는 것이다. 이런 경우는 승용차의 운행비용이 버스보다 크지만, 그것이 편리하고 쾌적하기 때문에 운행비용은 그다지 중요시되지 않을 뿐만 아니라, 승용차의 이와 같은 이점을 금액으로 나타내기는 매우 어렵다.

(3) 유발교통

교통비용이 낮아지기 때문에 새로이 발생하는 유발교통의 편익은 기존도로의 운행비용이 신설도로 운행비용과의 차이의 반 정도로 낮아지면 유발교통이 발생하기 시작한다고 보아 계산한다. 예를 들어 기존도로의 운행비용이 대-km당 91원이고 상품을 수송해도 이익이 남지 않는다면 유발교통이 발생하지 않는다. 만약 신설도로의 운행비용이 70원이라고 가정하면, 기존도로의 교통이 신설도

로로 전환됨에 따라 기존도로의 운행비용이 낮아진다. 이때 기존도로의 운행비용이 10.5원 낮아져 80.5원이면 유발교통이 발생하기 시작한다고 가정한다. 이때 10.5원이란 기존도로의 운행비용과 신설도로의 운행비용 70원과의 차이를 반으로 가정한 값이다. 따라서 유발교통의 편익은 기존도로의 운행비용 80.5원과 신설도로 운행비용 70원의 차이로부터 구한다. 수송비용이 낮아지므로 생기는 실제유발교통량은 교통수요의 탄력성, 다시 말하면 개개 상품수요의 탄력성에 좌우된다. 그러나 수송비용 감소 정도와 유발교통량의 관계를 정확하게 판단하기는 매우 어렵다.

교통시설을 신설하는 주된 목적이 어떤 지역을 개발하거나 혹은 새로운 경제개발을 위한 것이라면, 유발교통에 대한 수송비용 절감은 실제 그 프로젝트의 경제적 편익의 적절한 척도가 아니다. 이 경우에서의 편익은 확대생산된 상품의 가치라고 볼 수 있다.

2 경제발전

도로의 신설 및 개선과 그 주위의 경제활동은 밀접한 인과관계가 있다. 그러나 국가적인 관점에서 볼 때 어떤 한 도로가 새로운 경제발전에 미치는 영향은 그다지 크지 않다. 교통시설이 생산을 증대시킨다면 그 증가된 생산물의 순가치는 도로의 경제적 편익을 나타내는 척도라고 볼 수 있으나, 그것이 반드시 도로에 의한 것만은 아니다. 예를 들어 농업 및 공업개발을 위해서 큰 투자를 하고, 또 산업발전을 더욱 편리하게 하기 위해서 도로를 건설한다면 여기서 나온 편익은 산업개발을 위한 직접투자와 도로투자에 의한 공동편익일 것이다.

교통시설이 이미 생산된 상품의 시장을 확장시킨다면 경제적 편익은 기존시장에서의 상품의 가치와 새로운 시장에서의 가치 차이에서 새로운 시장으로의 수송비용을 뺀 것이다. 예를 들어 어떤 상품의 기존시장에서의 가격이 1,000원이고, 새로운 시장에서의 가격이 2,000원이며, 두 시장 간의 수송비용이 1,200원이면, 기존시장에서 새로운 시장으로 상품이 이동되지 않는다. 그러나 두 시장 간의 도로가 개선되어 수송비용이 600원으로 절감되면 상품수송의 수요가 생기고 도로투자로부터 얻는 편익은 400원이 될 것이다. 생산증가 또는 시장확장의 순가치를 측정하는 방법은 각 경우마다 다르나, 여기서는 그 방법에 대한 설명을 생략한다.

교통시설이 어떤 지역을 개발하기 위하여 건설된다면 일반적으로 다음과 같은 세 가지 경우가 나타난다. 첫 번째, 교통시설이 농업, 공업 및 관광개발 프로젝트의 일환으로 건설되는 경우이다. 이때는 평가의 초점을 전체의 프로젝트에 두고 최소비용의 수송방법을 마련하도록 해야 한다. 두 번째, 모든 조건은 다 만족되었으나 수송문제가 개발에 있어서 유일한 장애일 때이다. 이와 같은 경우는 기존도시와 인접한 채소생산지를 연결하는 도로가 없어 생산을 확장하지 못하는 경우이다. 세 번째, 교통시설이 새로운 지역 내에 건설되는 것으로서 다른 투자나 개선이 함께 이루어지지 않으면 지역의 발전이 불가능한 경우이다. 이때 교통투자는 다른 투자와 병행되지 않는다면 타당성이 없다.

3 시간절감

교통개선은 통행시간을 단축하고 교통서비스의 신뢰도를 증가시키는 것이 대부분이다. 특히 승객

에게는 시간이 돈이다. 그러나 시간의 가치는 그 절감된 시간이 어디에 사용될 것인가에 따라 달라진다. 즉, 실업자의 1시간과 고급기술자가 생산에 종사할 수 있는 1시간의 가치는 다르다(물론 고급기술자라 할지라도 절감된 1시간을 휴식을 취하는 데 사용한다면 그 가치는 또 달라진다). 시간가치는 또 전체통행시간에 대한 절감된 시간의 비에 따라 다르다. 즉, 4시간 통행에서 20분 절감하는 것보다 1시간 통행시간에서 20분을 절감하는 것이 가치가 더 크다. 이것은 통행이 길수록 정확하게 걸리는 시간이 덜 확실하기 때문이다. 다시 말하면 4시간 통행이라 하더라도 실제 걸리는 시간은 3시간 반 또는 4시간 반 정도를 예상하고 있으므로, 4시간 통행에서 20분이 단축된다 하더라도 이 시간을 다른 곳에 사용하려고 하지는 않을 것이다. 마찬가지로 어떤 사업자가 어느 도시에 가서 일을 볼 때 2시간 절약을 하면 당일로 돌아올 수 있고 1시간 절약을 하면 그 도시에서 하루를 묵어야 한다면, 이때 2시간의 절약시간가치는 1시간 절약가치보다 2배 이상 크다. 따라서 시간가치는 절약되는 시간길이에 비례하는 것이 아니기 때문에 각 프로젝트별로 신중히 검토해야 한다.

상품수송에서의 절약시간가치는 선진국보다 개발도상국이 일반적으로 더 크다. 수송 중인 상품은 사실상 자본이라 할 수 있으므로 자본의 공급이 부족한 경우에는 시간절약이 특별한 중요성을 갖는다. 상품수송에서의 시간절약은 자본가격, 즉 이자율로 측정된다. 또 신속한 배달은 파손을 줄이고 재고를 줄일 수 있으므로 자본절약의 부수효과를 얻는다. 또 큰 재고를 준비할 수 없는 경우에는 지체가 생기면 부속품의 결핍으로 값비싼 장비의 효율적인 사용이 불가능해지는 것과 같이 다른 자원을 이동할 수 없게 한다.

다른 편익과 비교해서 시간절약의 상대적인 중요성은 당연히 그 프로젝트의 성격에 따라 달라진다. 어떤 프로젝트에서는 시간절약으로 인한 편익이 차량의 운행비용 절감으로부터 얻을 수 있는 편익의 반이나 된다. 특히 시간절약의 중요성은 항공투자나 도시교통프로젝트에서 더욱 크다.

4 사고감소

교통사고율이 높은 이유는 통상 다음과 같다. (i) 포장폭이 좁고 갓길이 흩이며, (ii) 기하선형이 나쁘고, (iii) 도시로 향하는 도로가 혼잡하며, (iv) 저속의 이질교통(경운기, 자전거 등)이 혼재되어 있고, (v) 교통단속이 효과적이지 못하며, (vi) 운전자, 특히 버스 및 트럭 운전자가 경험이 부족하며 무모하게 운전하고, (vii) 차량의 기계적 결함이 많으며, (viii) 트럭이 과적을 하는 경향 때문이다.

사고감소가 경제적 편익임에는 틀림이 없으나, 교통개선에도 불구하고 사고가 별반 감소되지 않고 있다. 예를 들어 도로가 개선되면 초기에는 사고건수가 증가할 뿐만 아니라, 더욱 중요한 것은 차량-km당 사고율과 사고의 치사율도 증가한다. 이것은 도로개선으로 운행속도가 증가하기 때문이며, 이 현상은 자동차화시대의 초기에 일어나는 것으로서 안전운전에 관한 규율이 아직 뿌리내리지 못했기 때문이다. 차로가 분리되고 출입제한된 도로는 교통사고가 현저히 적다. 반면에 철길 건널목이나 곡선이 많은 도로에서는 사고가 잦으므로 이를 감소시키기 위한 투자가 매우 중요하다.

사고감소의 경제적 편익을 측정하는 데는 2단계가 있다. 첫째, 사고감소를 예측하는 것으로서 현재의 사고율과 개선 후의 도로와 같은 여건을 가진 도로의 사고율을 비교한다. 둘째, 사고감소의 가치를 추정하는 것이다. 사고로 인한 피해 중에서 금액으로 쉽게 나타낼 수 있는 것은 재산피해(주

로 차량피해)이다. 철도나 항만에서 화물의 파손도 여기에 속한다. 부상으로 인한 손실은 측정하기가 어려우나, 여기에는 부상자의 수입 손실, 치료비용 등을 포함한다. 사망자의 감소로 인한 편익은 사망자의 연평균수입을 30년 이상 현가로 계산하여 구한다. 그러나 여기에는 논란의 소지가 있다. 적어도 총수입에서 그 수입을 얻기 위해서 소비할 장래의 자원을 감해야 한다는 지적이다. 따라서 차라리 사망자 감소는 금액화하여 나타내지 않고 무시하거나 단순히 사망자의 숫자로 나타내는 것이 더 적절하다. 그러나 투자의 기본목표가 사고를 감소시키는 데 있다면 사망자 감소를 금액화하여 나타내야 한다.

5 부수적 편익

교통프로젝트에서는 앞에서 언급한 것 이외에도 부수적 편익이 있다. 프로젝트가 GNP나 국가효율 이외의 목표, 예를 들어 국민의 일체감 달성, 자급자족, 부의 균등분배, 국위선양 등에 기여하는 무형의 편익을 가진다. 농산물에 대한 수송비의 절감은 고소득층의 승객에 대한 같은 크기의 비용절감보다 더 가치가 있다. 미개발지역에서의 프로젝트 편익은 개발지역에서의 같은 프로젝트 편익보다 더 큰 우선순위를 가진다.

프로젝트를 평가할 때 이와 같은 것을 고려하는 데는 몇 가지 어려움이 따른다. 첫째, 부의 균등분배는 정치적 안정과 경제발전에는 도움이 되나, 투자에 대한 이득을 줄인다. 둘째, 이들 편익의 가치를 계량화하기가 어렵다. 셋째, 이와 같은 목적을 달성하는 데는 프로젝트에 의하지 않고도 금융정책과 같은 더욱 효율적인 수단이 있다. 하지만 그렇다 하더라도 효율성 이외의 국가목표가 분명히 중요하고, 또 어떤 프로젝트가 이 목표를 달성하거나 방해하는 데 큰 역할을 한다면 이들을 반드시 적시해야 한다.

19.5.4 비용과 편익 비교

프로젝트의 서비스수명에 걸쳐 매년의 비용과 편익이 측정되면 그 프로젝트의 타당성을 판단하기 위해서 이들을 비교한다. 이때 미래에 일어나는 비용과 편익은 당연히 적절한 이자율로 할인되어야만 현재가치로 환산할 수 있다. 적절한 이자율로서 어떤 값을 사용할 것인가 하는 문제는 사람에 따라 다르다. 이자율을 정하기 위해서는 그 프로젝트의 기회비용을 추정해야 할 뿐만 아니라 시간가치도 추정을 해야 하나, 이는 개인 또는 사회에 따라 다르며, 또 세대 간에도 차이가 난다.

비용과 편익을 비교하는 데 사용되는 방법은 여러 가지가 있다. 그중에서도 중요한 것은 (i) 할인된 비용과 편익의 차이를 나타내는 순현재가치 방법, (ii) 할인비용과 할인편익이 같아지는 이자율인 내부수익률 방법, (iii) 편익/비용비 방법이다. 편익/비용비 방법을 이용할 때는 총 편익과 총 비용을 비교해야 하며, 편익에서 어떤 비용을 뺀 값을 사용하면 이 B/C비가 크게 달라진다.

서로 다른 프로젝트를 비교하는 데 편익과 비용을 자본의 기회비용(이자율)으로 할인하는 것이 좋다. 하지만 이 방법의 가장 큰 결점은 할인할 이자율을 적절히 선택해야 한다는 것이며, 이자율을 잘못 선택하면 결과의 차이가 커지게 된다. 자본의 기회비용은 비용-편익 비교에서 결정적인 역할

을 하지만, 정확히 알 수가 없기 때문에 상당한 오차의 범위 내에서 추정하여 사용된다.

비용과 편익을 함께 할인하는 이자율, 즉 내부수익률 방법을 사용하면 이와 같은 염려는 없다. 하지만 이 경우 내부수익률이 자본의 기회비용(이자율)의 부근에 있으면서 그것이 이자율보다 큰지 작은지 확실하지 않을 때는 프로젝트의 타당성을 판단하기가 어렵다. 그러나 이자율이 내부수익률과 큰 차이가 있을 때는 대략적인 이자율만 알아도 프로젝트의 타당성을 평가할 수 있기 때문에 이 방법은 B/C비 방법이나 순현재가 방법보다 나은 방법이다.

내부수익률 방법이 프로젝트 선택에서 올바른 결정을 내리기는 하지만, 경제수명이 다르거나 연 간 발생하는 편익이 크게 다른 프로젝트를 비교할 때는 가끔 틀린 결과를 가져오기도 한다. 이 경우와 B/C비 방법의 결점을 예시하기 위해서 다음의 상호배타적인 3개의 프로젝트를 예를 들어 비교한다. 프로젝트 C는 완전히 새로운 도로를 건설하는 것이고 B는 기존도로를 대폭 개선하는 것이며, A는 기존도로를 부분 개선하는 프로젝트이다. 각 프로젝트의 순비용(-)과 편익은 다음과 같다(단위: 억 원).

연도	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
프로젝트 A	-50	2	8	12	15	20	22	18	10	8	5
프로젝트 B	-90	5	15	25	30	34	30	22	15	10	5
프로젝트 C	-100	2	10	15	20	30	35	38	35	25	15

10%의 할인율을 적용한 각 프로젝트의 편익과 순현재가, B/C비, 내부수익률 및 증분투자에 대한 수익률은 다음과 같다.

구분	비용	편익	순현재가	B/C비	내부수익률	증분투자에 대한 수익률	
						A	B
프로젝트 A	50	72	22	1.43	18.1		
프로젝트 B	90	119	29	1.32	17.1	15	
프로젝트 C	100	126	26	1.26	15.1	11	8

프로젝트 A가 가장 큰 내부수익률(18%)과 가장 큰 B/C비(1.43)를 보이는 반면에, 가장 적은 순현재가(22억 원)를 나타낸다. 프로젝트 B는 가장 높은 순현재가(29억 원)를 나타내지만, B/C비와 내부수익률은 중간이다. 그러므로 비용과 편익을 비교하는 방법에 따라 전혀 다른 결과를 얻는다. 프로젝트 평가의 목적이 순현재가가 가장 큰 프로젝트를 선택하는 것이므로 프로젝트 A는 가장 좋은 대안이라 할 수 없다. 프로젝트 B는 프로젝트 A에 비해 40억 원을 더 투자한 데 비해, 10% 할인율에서 편익은 47억 원이 더 많아 추가투자의 타당성이 인정된다. 반면에 프로젝트 C는 B에 비해 10억 원을 더 투자했으나, 추가편익은 7억 원이므로 프로젝트 C는 타당성이 인정되지 않는다.

가장 높은 내부수익률을 기준으로 프로젝트를 선택하면 잘못된 결과를 가져온다. 반면에 가장 높은 순현재가를 기준으로 프로젝트를 선택하면 이자율을 잘못 선정했을 경우에 역시 잘못된 결과를 초래한다. 프로젝트 C는 이자율 8% 이하일 때 가장 큰 순현재가를 가지며, 이자율이 8~15%일 때는 프로젝트 B가, 이자율이 15% 이상이면 프로젝트 A가 가장 큰 순현재가를 가진다. 다시 말하면 MARR이 8% 이하이면 모든 프로젝트가 타당성은 있으나(모든 프로젝트의 내부수익률이

MARR보다 크므로) A를 선택하고, MARR이 8~15% 사이에 있으면 역시 모든 프로젝트가 타당성이 있으나 B를 선택하고, 15~17% 사이에 있으면 A, B 프로젝트만 타당성이 있으나 A를 선택하고, 17~18% 사이에 있으면 A만 타당성이 있어 A를 선택하며, 18% 이상이면 모든 프로젝트가 타당성이 없어 전부 기각된다.

만약 자본의 기회비용(이자율)을 대략적으로 모르면, 내부수익률 방법을 사용하는 것이 매우 불확실한 이자율을 사용할 때보다 오차의 범위가 더 작을 수도 있다. 또 어떤 프로젝트가 대안과 비교되는 것이 아니라 일반적인 투자기회와 비교된다면, 내부수익률 방법이 일반적으로 만족스러운 방법이 된다. 이 방법은 특히 제한된 자본으로 경합을 벌이는 프로젝트의 우선순위를 정하는 경우에 자주 사용된다.

내부수익률 방법의 또 다른 결정은 비용과 편익이 같아지는 수익률이 하나 이상인 경우도 있을 수 있다는 것이다(프로젝트의 경제수명 기간 중에 비용이 갑자기 많아져 순편익의 부호가 두 번 이상 바뀌는 경우). 그러나 초기에 비용이 집중되고 나중에 편익이 생기는 대부분의 교통프로젝트에서는 그런 경우가 없이 내부수익률에 관한 해가 하나이다. 반면에 개발계획을 수립하면서 동시에 상대적인 우선순위를 결정하는 데는 이자율로 할인할 필요가 있으므로 국가적인 투자를 계획할 때는 이 방법이 좋다. 투자계획에서는 어떤 경우를 막론하고 자본의 기회비용(MARR)을 선정하지 않을 수 없다. 그래서 투자의 내부수익률이 이 값보다 작으면 개발계획에서 제외되게 된다. 그러나 MARR은 앞에서 언급한 바와 같이 정확하게 결정할 수가 없기 때문에 다음과 같은 방법을 사용해서 프로젝트의 타당성을 결정한다.

- ① 할인을 10%에서도 편익이 비용보다 작으면(내부수익률 10%보다 작으면), 이 투자는 타당성이 없다.
- ② 내부수익률이 10~15% 사이에 있을 경우 계량화할 수 없는 중요한 편익이 계량화되지 않는 비용보다 분명히 많아야만 그 투자는 타당성을 가진다.
- ③ 내부수익률 15% 이상이면 그 투자는 타당성이 인정된다.

그러나 이러한 기준수익률(MARR)은 국가의 은행금리나 투자기회 등 경제적 여건에 따라 달라진다.

비용과 편익을 비교·분석하는 방법은 16장 4절에 자세히 언급되어 있다.

1 불확실성 및 위험부담

프로젝트 평가는 예측을 요하므로 비용과 편익의 계산에 포함되는 여러 가지 요인들은 불확실성을 내포하고 있다. 건설비용은 기후에 영향을 받으며, 투자대상의 경제수명은 새로운 차량의 출현으로 인해 줄어들 수도 있고, 수송수요는 경제발전 패턴의 변화로 인해 변동될 수도 있다. 특히 교통량이나 프로젝트의 수명을 너무 낙관적으로 예측하거나 위험부담이 있는 프로젝트의 수익률을 너무 높게 잡으면 이와 같은 문제점에 봉착되게 되나, 그렇다고 그것이 반드시 불확실성을 야기하는 것은 아니다.

프로젝트의 불확실성을 제거하는 방법에는 두 가지가 있다. 가장 간단한 방법으로는 중요한 요인의 값을 여러 가지로 주고 이들에 대한 수익률을 계산하는 것이다. 예를 들어 만약 외환비용이 크기는 하지만 그 확실한 값을 알 수 없을 때는 추정되는 범위 내에서의 높은 값과 낮은 값을 사용하여 수익률을 구하고 외환비용의 변화에 따른 수익률의 범위와 민감도를 나타내면 된다. 이와 같은 방법은 교통량 예측이나 비용추정, 편익추정에서도 그대로 적용될 수 있다.

두 번째 방법은 조금 어려운 방법으로, 여러 가지 예측을 확률적으로 분석하여 최종결과는 어떤 수익률을 달성할 수 있는 확률로 나타내는 것이다. 그러기 위해서는 위험부담(risk)과 불확실성(uncertainty)을 구분해야 할 필요가 있다. 위험부담의 경우는 최종결과의 확률분포를 알 수 있으나 불확실성의 경우는 그렇지 못하다. 예를 들어 어느 달의 강우량을 예측할 수는 없으나, 과거의 강우 기록 자료로부터 각 강우량에 대한 확률을 구할 수는 있다. 만약 프로젝트의 건설이 어느 수준 이상의 강우량에서는 수행될 수 없다면 그 이상의 강우량을 가질 확률, 즉 강우로 인해 프로젝트를 시행할 수 없는 확률을 구할 수 있다. 반면에 이 방법은 기후의 변화라든가 기술의 변화와 같이 불확실한 경우에는 사용할 수 없다. 즉 적절한 통계자료가 없기 때문에 확률분포를 이용하여 그 정도를 만족스럽게 분석할 수가 없다. 그러나 이와 같은 경우에는 주관적으로 판단하여 확률을 구하고 그다음 위험부담의 경우와 같이 취급할 수 있다.

2 경제적 평가와 재무평가

일반적으로 프로젝트는 경제적 및 재정적으로 모두 타당성이 있어야 수행된다. 그러나 투자비용과 경제적 비용 사이에 큰 차이가 있을 때는 경제적 분석과 재무분석 결과가 어느 하나는 타당성이 있고 어느 하나는 타당성이 없다는 결론이 나올 수도 있다. 이와 같은 결과는 요금 및 운임결정에 영향을 준다.

재무분석과 경제분석의 모순을 해결하는 데는 두 개의 모순된 가치를 조화시키는 균형감각이 필요하다. 정부의 입장에서 볼 때 국가적인 경제적 편익이 비용보다 적은 투자는 인정하기 어렵다. 반면에 지하철과 같은 정부투자기관이 개인운송사업자의 노선을 따라 가능한 한 많이 운행하는 것이 효율면에서 또는 더 나은 투자결정을 위해서 바람직하다. 이러한 모순을 해결하기 위해서 이들 기관들이 신규투자를 한다면 경제성 분석과 재무분석을 모두 실시해야 한다. 만약 정부정책으로 인해 실제투자비용과 국가적인 경제적 비용 간에 차이가 생겨 재무분석과 경제분석의 결과가 달라진다면, 정부는 실제비용과 경제비용을 근접시키기 위해 외환이나 세금 및 다른 정책의 변화를 적극적으로 모색해야 한다.

3 프로젝트의 적정시기

할인된 편익이 할인된 비용보다 크다는 것은 그 프로젝트가 타당성을 갖는다는 것을 의미하지만, 그 프로젝트를 즉시 시행해도 좋다는 것을 의미하는 것은 아니다. 프로젝트의 적절한 시기는 할인편익과 할인비용의 차이가 최소가 되는 것, 즉 연기함으로써 상실되는 편익이 감소되는 비용과 같아질 시기까지이다. 만약에 어느 해의 비용절감이 편익상실보다 크다면 그 프로젝트는 더욱 연기해야 한다.

프로젝트를 시작하는 적정시기를 결정하기 위해서는 연기하는 해에 대해서 매년 분석을 해야 한다. 예를 들어 어떤 프로젝트를 연기할 때의 비용과 편익의 변화가 다음 표와 같다고 한다(단위: 억 원). 여기에 나타난 값은 증분비용 및 증분편익이다. 즉, 3년을 연기했을 때의 비용절감 16.0억 원은 2년 연기했을 때보다 비용절감이 16.0억 원이 더 많아진다는 뜻이다.

연기(년)	비용절감	편익감소	편익증감
1	20.0	8.0	+ 12.0
2	18.0	9.0	+ 9.0
3	16.0	11.0	+ 5.0
4	14.0	13.0	+ 1.0
5	13.0	16.0	- 3.0
6	11.0	18.0	- 7.0
7	10.0	28.0	- 18.0

이 분석에 의하면 프로젝트는 4년 연기하는 것이 가장 좋음을 보인다. 왜냐하면 5년을 연기하면 편익이 3억 원 감소하기 때문이다. 프로젝트 시행시기를 대략적으로 구하는 방법은 어떤 해의 순편익(할인되지 않은 총 편익-유지관리비용)과 연간등가비용으로 환산한 자본비용을 비교하여 후자가 적을 때까지 사업을 연기할 수 있다. 예를 들어 뒤의 사례분석에서 도로건설의 재무비용은 총 190억 원이다. 이자율 12%에서 이 비용의 연간등가비용은 21억 원이며, 편익이 발생하는 첫해의 순편익은 34.39(35.14-0.75)억 원이기 때문에 사업을 연기하면 안 된다. 왜냐하면 사업을 한 해 연기하면 비용절감은 21억 원이나, 편익감소는 34.19억 원으로 13.39억 원의 손해가 생기기 때문이다. 만약 첫해, 둘째 해, 셋째 해의 편익이 14억, 18억, 22억 원이라 가정하면 이 사업은 2년을 연기해도 편익은 오히려 증가하나 3년을 연기해서는 안 된다. 그러나 이 방법은 다른 요소들을 고려하지 않았기 때문에 어디까지나 개략적인 방법이라는 것에 유의해야 한다.

19.5.5 도로건설에 대한 투자분석(사례)

인구 300만인 항구도시가 인구 50만인 내륙도시와 176 km의 철도 및 192 km의 아스팔트 포장 도로로 연결되어 있다. 이 도로의 폭은 3.6 m이며 선형이나 포장상태가 매우 좋지 않다. 이 도로는 현재의 교통조건을 기준으로 설계된 것이 아니고, 또 침수되는 경우도 있기 때문에 유지관리비용이 많이 소요된다.

두 도시를 연결하는 새로운 도로를 건설할 계획을 검토하는 데 있어서 계획도로는 아스팔트 포장의 양방향 2차로로 폭이 7.2 m이며 도로 양쪽에 각각 3 m 폭의 안정된 자갈 갓길을 설치하는 것이다. 도로부지의 폭은 장차 도로확장을 고려하여 66 m로 하며, 설계속도는 100 kph이고 출입제한을 시키려 한다. 저속차량의 통행은 금지되나, 이들은 기존도로나 신설도로의 배수구 외곽에 건설되는 도로를 이용하게 한다. 설계기준이나 설계표준은 설계속도에 적합하게 충분히 사용된다. 도로를 신설하는 것보다는 기존도로를 개선하는 것을 검토해 본 결과 신설도로구간은 144 km로서 기존도로보다 48 km 짧으며, 기존도로의 침수를 방지하는 데는 막대한 비용이 드는 것으로 판단되었다.

1 프로젝트 비용

프로젝트의 재무비용은 km당 1.35억 원으로서 144 km에 총 194억 원으로 추정된다. 경제비용을 계산하기 위해서는 다음 3가지를 고려해야 한다. 첫째, 프로젝트의 외환부분은 80억 원으로 추정된다. 잠재환율(shadow rate)이 공식환율의 1.20배일 때 경제비용은 재무비용보다 약 16억 원 많은 210억 원이다. 둘째, 관세와 판매세는 약 20억 원으로서 이를 제하면 총 경제비용은 190억 원이다. 셋째, 건설에 투입되는 노동력은 비숙련 유희노동력이기 때문에 총비용에서 이 부분을 공제해야 하나 그 크기가 매우 적고, 또 숙련 노동력도 있어 서로 상쇄된다고 본다. 이 프로젝트의 공사기간은 3년이 걸린다고 한다([표 19.2]의 (1)열).

도로의 연간유지관리비용은 km당 525,000원으로서 144 km에 총 7,560만 원이다. 이 중 외환부분은 5,320만 원이며 잠재환율을 고려하면 1,064만 원이 추가되어 연간총유지관리의 경제비용은 8,624만 원이다. 반면에 유지관리비 중에서 적어도 30%는 비숙련 유희노동력 때문에 지불되는 실제임금 가운데서 50%의 잠재가격을 적용하면 연간유지관리의 경제비용은 $1,134(7,560 \times 0.3 \times 0.5)$ 만 원이 줄어든 7,490만 원이다.

이 비용은 교통량의 증가에 따라 점차 증가하며, 또 그 지역의 고용기회가 확대됨에 따라 노동력의 경제비용이 증가한다. 또 6년마다 4.2억 원의 경제비용으로 재포장을 한다. 유지관리는 그 프로젝트의 수명인 30년 동안 계속되며 그 후의 잔존가치는 없다고 본다([표 19.2]의 (2)열).

2 교통량

1995년 기준도로의 연평균일교통량은 약 600대이며, 이 중 트럭이 350대, 승용차가 220대, 버스가 30대이다. 1995년에서부터 2000년 사이에 신설도로가 완성되었을 때 트럭과 승용차는 매년 12%씩 증가하며, 버스는 10%씩 증가하여 트럭은 615대, 승용차는 385대, 버스는 50대로 총 1,050대가 된다.

신설도로의 교통은 기존도로로부터의 전환교통, 인접도로로부터의 전환교통, 자연증가교통 및 도로개선으로 인한 유발교통으로 구성된다.

기존교통의 O-D 조사 결과 전체의 92%가 신설도로로 전환될 통과교통이며, 8%가 그대로 기존도로를 이용할 국지교통이다. 따라서 2000년의 1,050대의 교통 중에서 965대([표 19.1]에서 $565 + 45 + 355$)가 신설도로로 전환될 것이다. 먼 장래의 불확실성을 고려하여 교통증가율을 다음과 같이 추정한다.

연도	트럭(%)	버스(%)	승용차(%)
2000~2003	12	10	11
2004~2013	8	8	10
2014~2018	6	6	8

2018년 이후의 교통량은 증가하지 않는다. 왜냐하면 그때가 되면 교통량이 계획도로의 용량인 5,000대에 도달하여 다시 새로운 확장의 필요성이 생기기 때문이다([표 19.1]).

기존도로로부터의 전환교통뿐만 아니라 철도의 승객과 고가화물 교통량조사에 의하면 이들의 일부분도 계획도로로 전환하게 된다. 이 전환교통량을 추정하기는 매우 어렵다. 왜냐하면 철도와 도로의 수송비용이 모든 유통비용을 적절히 잘 나타내지 못할 뿐만 아니라 철도는 고가화물의 운임을 내려 경쟁력을 강화하려고 하기 때문이다. 이와 같은 사실을 감안하여 2000년에 철도로부터 트럭으로의 전환교통은 30대, 버스로는 5대가 된다. 철도를 이용하는 승객의 종류를 고려할 때 철도이용승객이 승용차로 전환하는 것은 무시하였다. 철도로부터의 전환교통량의 연간증가율은 철도교통량의 증가율이 둔한 것을 감안하여 기존도로로부터의 전환교통증가율의 반으로 본다([표 19.1]).

끝으로 신설도로의 수송비용이 절감되기 때문에 새로운 교통이 유발된다. 산업 및 농업조사나 다른 지역에서 행한 유사한 도로개선사업의 경험에 비추어 볼 때 유발교통량은 첫해에는 기존도로로부터의 전환교통량의 10%, 둘째 해에는 15%, 셋째 해에는 20% 정도 된다. 그 후에는 기존도로로부터의 전환교통량증가율과 같은 비율로 증가한다. 이와 같이 해서 나온 교통량 추정의 결과는 [표 19.1]에 나타나 있다.

[표 19.1] 계획도로의 일교통량 추정

(단위: 대)

연도	트럭				버스				승용차			총계
	기존 도로로부터 전환교통	철도로부터 전환교통	유발 교통	트럭 소계	기존 도로로부터 전환교통	철도로부터 전환교통	유발 교통	버스 소계	기존 도로로부터 전환교통	유발 교통	승용차 소계	
2000	565	30	55	650	45	5	5	55	355	35	390	1,095
2001	635	30	95	760	50	5	5	60	395	60	455	1,275
2002	710	35	140	885	55	5	10	70	440	90	530	1,485
2003	795	35	155	985	60	5	10	75	485	100	585	1,645
2004	875	35	170	1,080	65	5	10	80	535	110	645	1,805
2013	1,750	50	340	2,140	130	10	20	160	1,260	260	1,520	3,820
2018	2,205	55	430	2,690	165	10	25	200	1,715	350	2,065	4,955
2028	2,205	55	430	2,690	165	10	25	200	1,715	350	2,065	4,955

3 프로젝트 편익

프로젝트의 편익은 신설도로에서의 차량운행비용 감소, 기존도로에 남아 있는 교통의 차량운행비용 감소, 승객 및 화물의 수송시간절약으로 구성된다. 기존도로의 유지관리비용도 조금은 감소되나 너무 미미하기 때문에 여기서는 무시한다.

(1) 신설도로에서의 운행비용 감소

- ① 기존도로로부터의 전환교통: 앞에서 언급한 바와 같이 기존도로의 2000년도 연평균일교통량은 1,050대에 달하며, 여기에다 자전거, 보행자, 경운기 등도 혼합되어 있다. 따라서 도로에서의 혼잡이 대단하며 두 도시 간의 통행시간은 승용차의 경우 거의 4시간(50 kph)이 걸리고, 트럭과 버스는 5시간(38 kph)이 걸린다. 신설도로에서는 승용차가 2시간 이하(80 kph), 트럭과 버스는 2.25시간(65 kph)이 걸린다.

기존도로와 신설도로에서의 차량운행조사에 의하면 차량-km당 비용은 아래에서 보는 바와

같다(단위: 원). 이 비용은 세금을 제외하고 외환비용이 잠재가격으로 조정된 것이다.

비용 항목	트럭과 버스		승용차	
	신설도로	기존도로	신설도로	기존도로
연료 및 오일	15	17.5	5	6
타이어 마모	7	10.5	2	3
감가상각	19	24	9	10.5
이자	10	11	5	7
유지관리	15	22	2	2.5
노임	4	6	-	-
계	70	91	23	29
편익	21		6	

그러므로 기존도로로부터의 전환교통에 대한 단위편익은 트럭 또는 버스 - km당 21원과 승용차 - km당 6원이다. 또 신설도로는 기존도로보다 48 km 짧은데 따르는 편익도 있다. 따라서 2000년도 전환교통에 대한 편익은 아래와 같다.

도로길이 단축으로 인한 편익 (단위: 억 원)

트럭: $565\text{대} \times 48\text{ km} \times 365\text{일} \times 91\text{원} = 9.00$

버스: $45\text{대} \times 48\text{ km} \times 365\text{일} \times 91\text{원} = 0.72$

승용차: $355\text{대} \times 48\text{ km} \times 365\text{일} \times 29\text{원} = 1.80$

소계 11.52

설계표준상향으로 인한 편익

트럭: $565\text{대} \times 144\text{ km} \times 365\text{일} \times 21\text{원} = 6.23$

버스: $45\text{대} \times 144\text{ km} \times 365\text{일} \times 21\text{원} = 0.50$

승용차: $355\text{대} \times 144\text{ km} \times 365\text{일} \times 6\text{원} = 1.12$

소계 7.85

총계 19.37

19.37억 원의 총 편익 중에서 약 60%인 11.52억 원이 노선단축으로 인한 것이며, 나머지 7.85억 원이 도로가 고급화됨으로써 얻어지는 편익이다.

신설도로가 큰 혼잡 없이 장래 교통량을 처리할 수 있는 반면에 기존도로는 점차 혼잡해질 것이다. 이 결과 일교통량이 2,000대에 도달하는 2004년 후에는 운행비용이 약 5%씩 증가할 것으로 추정되며, 4,000대에 도달하는 2013년 이후에는 운행비용이 추가적으로 약 5%씩 증가할 것이다. 이것을 트럭과 버스에 대해서 생각한다면 운행비용이 91원에서 95원이 되며, 그 후에는 다시 100원이 되어, 단위편익은 21원에서 25원으로, 그리고 30원으로 증가한다. 기존도로로부터의 전환교통이 증가함에 따라 얻는 편익은 [표 19.2]의 (4)열에 나타나 있다.

- ② 유발교통: 유발교통에 대한 단위편익은 기존도로로부터의 전환교통으로 얻는 편익의 반이다. 더욱이 유발교통의 반 이상이 도로구간이 단축되기 때문에 생기며, 그 나머지가 설계표준의

고급화 때문에 생긴다. 그래서 2000년 편익은 다음과 같다.

도로길이 단축으로 인한 편익	(단위: 억 원)
트럭: 30대 × 48 km × 365일 × 45.5원 =	0.239
버스: 3대 × 48 km × 365일 × 45.5원 =	0.024
승용차: 20대 × 48 km × 365일 × 14.5원 =	0.051
소계	0.314

설계표준상향으로 인한 편익	
트럭: 25대 × 144 km × 365일 × 10.5원 =	0.138
버스: 2대 × 144 km × 365일 × 10.5원 =	0.011
승용차: 15대 × 144 km × 365일 × 3원 =	0.024
소계	0.173
총계	0.487

교통량의 증가에 따라 생기는 이들 편익은 [표 19.2]의 (5)열에 나타나 있다.

- ③ 철도로부터의 전환교통: 그 도로와 평행한 철도로부터 전환되는 교통의 단위편익을 구하기란 매우 어렵다. 왜냐하면 도로교통비용을 한계철도비용과 비교해야 하며, 또 대부분의 전환교통이 수송비용이 낮기 때문에 생기는 것이 아니라 총 유통비용이 낮고 신속하며 신뢰성 있는 서비스 때문에 생긴다. 이와 같은 사실을 감안할 때 편익은 트럭과 버스-km당 4.4원으로 2000년도의 트럭에 대한 편익은 700만 원, 버스에 대한 편익은 112만 원이다. 이것은 [표 19.2]의 (6)열에 나와 있다.
- ④ 종합: 신설도로의 차량운행비용 감소로부터 얻는 2000년도의 총 편익을 차량별로 종합하면 다음과 같다.

트럭: 15.68억 원
버스: 1.26억 원
승용차: 3.00억 원
소계 19.94억 원

기준연도인 2000년에 신설도로교통에 의한 편익의 80%가량이 트럭에 의한 것이다. 교통의 종류별로 본 편익은 다음과 같다.

기준도로로부터의 전환교통: 19.36억 원
유발교통: 0.49억 원
철도로부터의 전환교통: 0.09억 원
소계 19.94억 원

그래서 기준도로로부터의 전환교통으로 얻는 편익은 전체 편익의 97%에 달한다. 이 프로젝트

의 경제수명 동안에 유발교통에 의한 상대적인 편익이 매우 급격히 증가하지만, 철도로부터 전환되는 교통에 대한 편익은 전환교통이 별로 증가하지 않기 때문에 증가량이 크지 않다. 그러므로 기존도로로부터의 전환교통에 의한 편익이 항상 총 편익의 대부분을 차지한다. 신설 도로의 교통에 대한 총 편익은 [표 19.2]의 (7)열에 나와 있다.

(2) 기존도로에서의 운행비용 감소

앞에서 언급한 것처럼 기존도로는 현재 복잡한 상태이다. 교통량의 92%가 신설도로로 전환되면 기존도로의 혼잡이 줄어들어 국지교통이 편익을 얻으며, 2000년도 하루에 트럭 50대, 버스 5대, 승용차 30대가 편익을 받는다. 또한, 혼잡감소로 인해 차량운행비용이 약 5% 감소된다. 이를 2000 년도에 대해서 계산하면 다음과 같다.

트럭: 50대 × 192 × 365일 × 4.4원 =	0.153억 원
버 스: 5대 × 192 × 365일 × 4.4원 =	0.015억 원
승용차: 30대 × 192 × 365일 × 1.3원 =	0.028억 원
소계	0.196억 원

이 편익은 [표 19.2]의 (8)열에 나타나 있으며, 이 도로에서의 교통량 증가에 맞추어 매년 약 5% 씩 증가한다.

(3) 승객 및 화물의 시간절약

지금까지의 분석에서 차량과 트럭 및 버스운전자에 대한 시간절약은 고려되었으나(감가상각, 노 임 등에서) 승객이나 화물의 시간절약은 고려되지 않았다. 앞에서도 언급한 바와 같이 신설도로에서 트럭과 버스는 2.75시간이 절약되며, 승용차는 2시간이 절약된다.

승객의 시간가치는 그들이 절약된 시간에 대해서 얼마만 한 가치를 부여하느냐, 즉 그 시간을 절약하기 위해서 얼마만 한 대가를 기꺼이 지불할 수 있느냐에 달려 있으며 이는 사람마다 다르다. 이 가치는 어떤 사람의 시간당 임금(보수)과 직접적인 관계가 없다. 예를 들어 월수입 150만 원(시간당 7,500원)인 사람이 3시간 걸리는 거리를 5,000원 요금으로 다니다가 2시간으로 단축된다고 해서 7,500원을 더 내려고 하지는 않을 것이다. 이 절약되는 시간가치는 또 총 걸리는 시간에 대한 비와도 관계가 된다. 예를 들어 10시간 걸리는 데서 1시간 절약되는 가치가 2시간 걸리는 데서 1시간 절약되는 가치와 같을 수가 없다.

이 예제에서 기존도로를 이용하는 버스승객의 평균시간가치를 시간당 500원, 승용차승객은 2,000원이라고 가정을 한다. 유발교통은 시간절약의 효과가 유발교통량의 증가로 나타나므로 절약 시간가치가 기존도로를 이용하는 차량과는 다르다. 여기서는 그것의 반이라고 가정한다. 버스의 평균승객수는 25명이며, 승용차의 평균승객수는 1.5명이라 한다.

화물에 대한 시간가치는 화물의 성격이나 화주의 시간가치를 알 수 없기 때문에 추정하기가 매우 어렵다. 그래서 트럭의 평균적재량을 3톤, 화주가 기꺼이 지불하려는 지체상금을 톤-시간당 50원으로 가정하고, 유발교통의 화물에 대한 시간가치는 마찬가지로 이 값의 반인 25원이라 한다. 승객 과 화물의 시간절약에 따른 편익을 2000년도에 대해서 구하면 다음과 같다.

승객의 시간가치

기존도로 이용교통

버스: $2.75\text{시간} \times 365\text{일} \times 45\text{대} \times 25\text{명} \times 500\text{원} = 5.65\text{억 원}$

승용차: $2\text{시간} \times 365\text{일} \times 355\text{대} \times 1.5\text{명} \times 2,000\text{원} = 7.77\text{억 원}$

유발교통

버스: $2.75\text{시간} \times 365\text{일} \times 5\text{대} \times 25\text{명} \times 250\text{원} = 0.31\text{억 원}$

승용차: $2\text{시간} \times 365\text{일} \times 35\text{대} \times 1.5\text{명} \times 1,000\text{원} = 0.38\text{억 원}$

소계 14.11억 원

화물의 시간가치

기존도로이용 트럭: $2.75\text{시간} \times 365\text{일} \times 565\text{대} \times 3\text{톤} \times 50\text{원} = 0.85\text{억 원}$

유발 교통 트럭: $2.75\text{시간} \times 365\text{일} \times 55\text{대} \times 3\text{톤} \times 25\text{원} = 0.04\text{억 원}$

소계 0.89억 원

총계 15.00억 원

이 편익은 [표 19.2]의 (9)열에 나와 있으며 이 도로에서의 교통량 증가에 따라 매년 증가한다. 차량운행비용 감소와 시간 단축으로 인한 총 편익은 (10)열에 종합되어 있다.

4 비용과 편익 비교

(1) 결론

[표 19.2]의 (11)열과 (12)열에 보이는 바와 같이 제안된 도로프로젝트의 편익은 그 비용을 훨씬 초과한다. 순편익은 12% 이자율로 할인하여 경제수명 동안 약 333억 원에 달한다. 비용-편익비는 거의 2.87이며, 내부수익률은 24%가 조금 넘는다([표 19.2]의 (13), (14)열). 이 말은 이 프로젝트의 시행이 정당화된다는 것을 뜻한다.

(2) 민감도의 분석

이 프로젝트는 매우 큰 순가치를 나타내므로 어떤 한 요인이 변한다고 해서 결론이 크게 영향을 받지 않는다. 예를 들어 프로젝트의 자본비용이 여기서 추정된 것보다 25% 크다고 하더라도 순현재가치는 290억 원이 된다.

편익계산에서 차량운행비용 추정은 현장측정과 다른 도로에서 얻는 경험을 이용하면 오차범위가 그다지 크지 않을 수 있다. 반면에 교통량 추정은 본래 좀 확실하지 않다. 이 프로젝트에서 편익의 약 60%가 기존도로에서 신설도로로 전환되는 교통에 의해서 생긴다. 만약 초기에 신설도로로 전환되는 교통과 교통량 증가율이 추정된 것보다 적어 편익이 25% 낮아진다고 하더라도 순현재가치는 205억 원이 되어 이익은 여전히 매우 크다.

만약 프로젝트 비용이 45% 크고 편익이 추정된 것보다 45% 적다하더라도 순현재가는 23억 원이 되어 수익률은 여전히 12%를 넘는다.

[표 19.2] 도로건설 투자분석

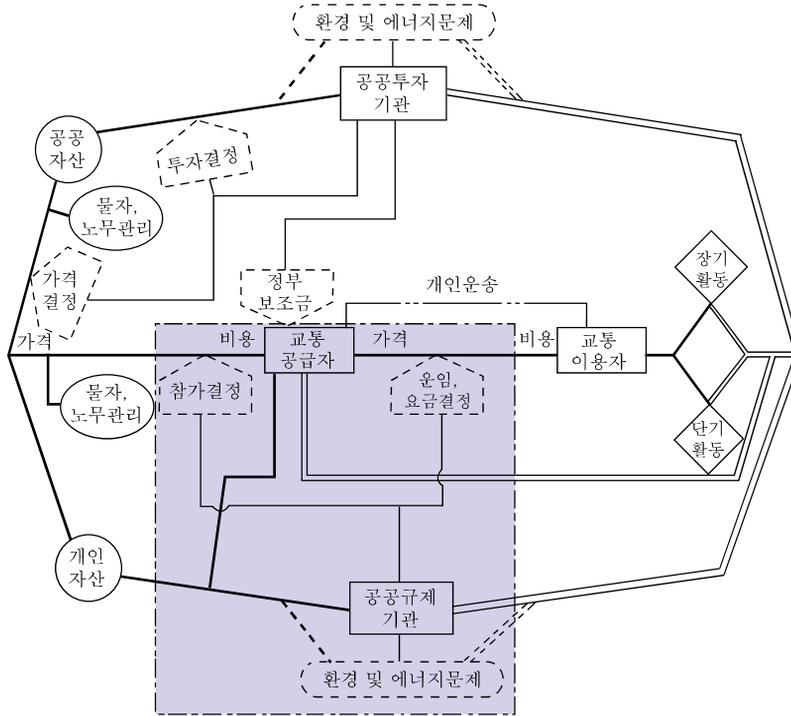
(단위: 억 원)

연도	비용			편익							순가치(12% 할인율 적용)		내부수익(24% 할인율 적용)	
				운영비용 감소				시간 감소		총 편익	비용	편익	비용	편익
	자본 비용	유지 관리 비용	총 비용	기존 도로에서 전환 교통	유발 교통	철도에서 전환 교통	신설 도로 교통 소계	기존 도로 교통	승객 화물 시간					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)					
1997	56.00	-	56.00	-	-	-	-	-	-	-	56.00	-	56.00	-
1998	64.00	-	64.00	-	-	-	-	-	-	-	57.15	-	51.62	-
1999	70.00	-	70.00	-	-	-	-	-	-	-	55.80	-	45.63	-
2000	-	0.75	0.75	19.37	0.49	0.08	19.94	0.20	15.00	35.14	0.53	25.01	0.39	18.43
2001	-	0.77	0.77	21.68	0.84	0.08	22.60	0.21	16.93	39.74	0.49	25.25	0.33	16.81
2002	-	0.78	0.78	24.28	1.19	0.10	25.57	0.21	19.32	45.10	0.44	25.59	0.27	15.38
2003	-	0.80	0.80	27.17	1.33	0.10	28.60	0.22	21.18	50.00	0.41	25.33	0.22	13.76
2004	-	0.81	0.81	30.42	1.48	0.11	32.01	0.24	23.15	55.40	0.37	25.06	0.18	12.29
2005	-	5.03	5.03	35.70	1.71	0.11	37.52	0.25	27.12	64.89	2.03	26.21	0.90	11.61
2006	-	0.84	0.84	38.64	1.85	0.11	40.60	0.27	29.28	70.15	0.30	25.30	0.12	10.12
2007	-	0.85	0.85	41.72	1.99	0.11	43.82	0.28	31.60	75.70	0.27	24.38	0.10	8.81
2008	-	0.87	0.87	45.08	2.14	0.13	47.35	0.29	34.12	81.76	0.25	23.51	0.08	7.67
2009	-	0.88	0.88	48.68	2.31	0.13	51.12	0.31	36.84	88.27	0.23	22.66	0.07	6.68
2010	-	0.90	0.90	51.17	2.49	0.14	53.80	0.32	39.30	93.42	0.21	21.41	0.05	5.70
2011	-	5.11	5.11	55.30	2.69	0.14	58.13	0.34	42.92	101.39	1.05	20.74	0.25	4.99
2012	-	0.92	0.92	59.72	2.90	0.14	62.76	0.35	46.26	109.37	0.17	19.98	0.04	4.34
2013	-	0.94	0.94	64.50	3.12	0.15	67.76	0.36	50.89	119.01	0.15	19.41	0.03	3.81
2014	-	0.95	0.95	79.80	3.85	0.15	83.80	0.38	53.92	138.10	0.14	20.11	0.02	3.56
2015	-	0.97	0.97	84.42	4.06	0.17	88.65	0.41	57.13	146.18	0.13	19.00	0.02	3.04
2016	-	0.98	0.98	89.32	4.20	0.17	93.69	0.42	60.50	154.61	0.11	17.95	0.02	2.60
2017	-	5.19	5.19	94.64	4.45	0.18	99.27	0.45	64.10	163.82	0.54	16.99	0.07	2.21
2018	-	1.01	1.01	100.31	4.72	0.18	105.21	0.46	67.30	172.97	0.09	16.02	0.01	1.89
2019	-	1.01	1.01	100.31	4.72	0.18	105.21	0.46	67.30	172.97	0.08	14.29	0.009	1.52
2020	-	1.01	1.01	100.31	4.72	0.18	105.21	0.46	67.30	172.97	0.07	12.77	0.007	1.22
2021	-	1.01	1.01	100.31	4.72	0.18	105.21	0.46	67.30	172.97	0.07	11.40	0.006	0.99
2022	-	1.01	1.01	100.31	4.72	0.18	105.21	0.46	67.30	172.97	0.06	10.17	0.005	0.80
2023	-	5.21	5.21	100.31	4.72	0.18	105.21	0.46	67.30	172.97	0.27	9.08	0.019	0.64
2024	-	1.01	1.01	100.31	4.72	0.18	105.21	0.46	67.30	172.97	0.05	8.11	0.003	0.52
2025	-	1.01	1.01	100.31	4.72	0.18	105.21	0.46	67.30	172.97	0.04	7.25	0.002	0.42
2026	-	1.01	1.01	100.31	4.72	0.18	105.21	0.46	67.30	172.97	0.04	6.47	0.002	0.33
2027	-	1.01	1.01	100.31	4.72	0.18	105.21	0.46	67.30	172.97	0.03	5.78	0.002	0.28
2028	-	1.01	1.01	100.31	4.72	0.18	105.21	0.46	67.30	172.97	0.03	5.15	0.001	0.17
											177.6	510.5	156.4	160.6

순현재가=333억 원

19.6 공공규제

교통경제의 영역에서 공공규제가 관련되는 부분은 [그림 19.10]과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 19.10] 교통의 공공규제 영역

운송사업에 대한 정부의 규제는 자원을 합리적이며 효율적으로 배분하고 국가 경제력의 낭비를 방지하기 위하여 행해진다. 정부규제가 추구하는 목표는 (i) 기술적으로 보나 수요특성으로 보나 국가독점이 될 수 있는 교통기업에 대해 불합리한 가격으로 과다한 수입을 올리지 못하게 하고, (ii) 소득 수준이 같지 않은 각 계층에 대해 운임상의 차별을 방지하고, (iii) 공공이익에 관계되는 어떤 종류의 서비스를 유지하고, (iv) 교통기업 간의 경쟁이 치열하고 평균총비용과 평균가변(또는 한계)비용과의 차이가 클 경우에는 교통기업의 발전이나 확장을 위한 충분한 수익을 보장해 주는 것이다.

이와 같은 목표 중에서 마지막 것만이 유일하게 경제적 효율성과 관계가 된다. 그래서 정부규제는 독점력이 반사회적으로 작용하는 것을 막거나 또는 비경제적이지만 사회적으로 바람직한 서비스를 향상시키는 데 근본적인 목표를 두는 것이다. 경제적인 효율과 자원배분은 연관성이 별로 없다.

정부는 언제나 교통산업이 안정되어야 한다는 것을 인식하고는 있으나 경제적 효율성에 대해서는 등한시하는 경향이 있다.¹⁷⁾ 운임 또는 요금이나 규제정책이 바뀔 경우 주어진 교통량이 더 적은 비용으로 수송될 수 있는지, 기술적인 변화가 촉진 혹은 지체되는지, 용량이 충분히 사용되는지 하는 것에 대해서는 정부가 의문을 제기하거나 분석한 적이 없다.

반면에 소득계층에 관한 의문은 항상 관심의 대상이 되었다. 주어진 운임이 주어진 화주에게 어느

정도 불공정하게 차별을 하는지, 혹은 주어진 운임이나 정책변화가 생산자나 화주 또는 경쟁 수단들에게 어느 정도 나쁜 영향을 미치는지 하는 문제가 정부의 주된 관심사였다. 운임이나 규제정책이 자원배분에 미치는 영향이 관념적으로는 중요성을 인정받으면서도, 사실은 이것이 여러 소득계층에 미치는 구체적인 영향에 더 큰 비중을 두고 다루었다.

19.6.1 규제의 종류와 효과

교통시설이 확충되면 초기에는 수요에 비해 용량이 과다하고 평균총비용과 평균가변비용 간의 차이가 너무 크기 때문에 이를 보상하기 위해서 이용자 계층별로 가격차등을 두어 용량을 최대한 이용하려고 한다. 예를 들어 운임에 매우 예민한 탄력성 있는 수요와 운임에 별로 예민하지 않은 비탄력적 수요를 생각해 보자. 운송자는 이들 두 계층을 분리하여 전자에게는 낮은 운임으로, 후자에게는 높은 운임을 부과하여 수입을 극대화할 것이다. 만약 이들 두 그룹에게 동일한 운임을 부과하도록 한다면 수입은 감소할 것이다. 이는 탄력적인 교통수요에 높은 운임을 부과하면 이보다 더 큰 비율로 수요가 감소하고, 비탄력적인 수요에 대해서는 낮은 운임을 부과하더라도 수요가 이보다 더 큰 비율로 증가하지는 않기 때문이다. 따라서 이득과 용량이용도는 동일운임일 때보다 차등운임일 때가 더 크다. 미국철도에서는 일찍이 화물, 장소, 또는 화주별로 운임차등을 두는 제도가 성행하였다. 그 이유는 철도가 도로교통에 비해 주요 생산지와 소비지에 접근하기 힘든 특성 때문에 고객을 빼앗길 우려가 있기 때문이다.

살화물은 해운을 이용할 수도 있고, 대부분의 주 소비지는 여러 수송수단을 이용하여 공급되며, 상품의 최종가격 중에서 운임이 차지하는 비중이 크기 때문에 대부분의 농산물이나 원자재는 철도 수송수요의 운임탄력성이 크다.

이와 유사하게 고가상품은 철도 이외의 다른 수송수단이 거의 없고, 상품의 가격 중에서 수송비가 차지하는 비중이 비교적 작기 때문에 이러한 상품에 대한 철도수송수요의 운임탄력성은 매우 낮다. 이와 같이 서로 다른 탄력성의 관점에서 볼 때 고가상품에 대해서 높은 운임을 부과하는 것은 합리적이며 이윤을 극대화하는 방법이다. 철도가 상품의 가치에 따라 운임에 차등을 두는 근거를 서비스가치이론이라 한다.

철도의 지역별 독점력의 차이로 장소적 가격차등이 생긴다. 만약 한 지역에 대한 완전한 수송독점이 이루어지면 부과되는 운임의 한도는 주요 생산지와 소비지와 관련된 그 지역의 위치, 상품의 최종가격에 대한 수송비용의 크기, 상품의 수요탄력성 등과 같은 시장력에 의해 결정된다. 만약 어떤 지역 안에서 해운과 경쟁관계에 있으면, 부과되는 운임의 한도는 매우 낮은 해운운임에 의해 결정된다. 결과적으로 철도뿐만 아니라 해운이용이 가능한 지역은 철도독점지역에 비해 운임이 훨씬 낮을 수 있다. 철도가 두 개의 주요 소비지를 연결하는 장거리운임보다 한 소비지와 독립된 어떤 지역을 연결하는 단거리운임을 더 높게 책정하는 것은 조금도 이상한 것이 아니다. 이와 같은 형태의 장·단거리 차등운임은 널리 행해지기 때문에 비교적 외딴 지역의 화주들에게는 반발을 불러일으킨다. 소량화물의 화주나 다른 수송수단이 없는 외딴 지역, 그리고 고가상품은 경쟁압력을 받는 곳에서의

운임에 비해 훨씬 높은 운임을 묻다. 반면에 대량화물의 화주나 여러 가용수송수단이 많은 지역, 그리고 염가상품은 낮은 운임을 물어도 된다. 결국 독점력이나 경쟁압력의 정도에 따라 운임차등은 다양한 형태로 나타난다.

서비스가치이론은 철도의 이익을 만족시킬 뿐만 아니라 매우 중요한 사회적 목적(social goal)을 달성하는 데 기여를 한다. 농산물은 공급이 매우 비탄력적이고, 또 생산한 것은 모두 판매를 해야 하는 특성이 있다. 농산물의 수송비용(운임)이 커지는 경우 그것을 시장가격에 반영한다면 수요가 줄어들기 때문에 생산된 것을 다 판매하지 못한다. 따라서 시장가격을 일정하게 하기 위해서는 수송비용의 증가분만큼 생산자의 수익이 줄어들게 된다. 즉 농산물에 있어서의 수송운임은 생산자가 무는 세금과 같은 효과를 갖는다. 따라서 단기적으로 볼 때 농산물의 공급은 일정하므로 운임의 증가 부담은 생산자가 떠맡으며 철도수입은 늘어난다. 그러나 어느 정도의 시간이 경과한 후에 생산자가 이에 대처할 수 있게 된다면 운임상승의 효과는 예측하기가 어렵다. 일반적으로 공급곡선보다 수요곡선이 더 탄력적일수록 운임을 생산자가 물어야 하는 경향이 심하다. 더욱이 수요, 공급곡선 모두 탄력성이 커질수록 운임상승에 따른 산출물은 더욱 줄어들 것이다. 그래서 탄력적인 수요곡선과 비탄력적인 단기공급곡선 및 탄력적인 장기공급곡선을 갖는 상황이라면 운임상승분이 처음에는 생산자의 수입을 잠식할 것이고, 그러면 그 상품으로부터의 수입이 감소함에 따라 그 상품의 생산을 축소할 것이다.

농산물이나 원자재와 같은 것은 여러 수송수단 간의 경쟁이 있기 때문에 이들의 수요곡선은 매우 탄력적이다. 마찬가지로 이들 상품의 단기공급곡선은 매우 비탄력적이다. 왜냐하면 이들 상품의 생산량을 단기간에 변화시키기는 어렵기 때문이다. 그러나 장기공급곡선은 이들을 생산하는 데 따르는 어려움이나 불확실성을 보장받기 위해서는 높은 수입을 원하기 때문에 매우 탄력적이다. 결국 농산물이나 원자재의 운임을 증가시키면 생산자의 수입이 감소되므로 그 지역의 발전이 지체된다는 사실을 쉽게 알 수 있다.

고가상품은 일반적으로 비탄력적이므로 이들에게 부과되는 높은 운임은 역시 소비자가 부담하게 되는 경향이 있다. 그래서 그 운임구조는 상품 종류 간에는 물론이고 소득계층 간에 소득을 분배하는 역할을 한다. 앞에서 설명한 서비스가치이론에 의하면 결국 소득이 제조상품의 소비자로부터 농산물이나 원자재의 생산자로 전이된다는 것을 알 수 있다. 그래서 철도의 운임구조는 어느 지역의 발전을 촉진시키기 위하여 소득을 재분배하는 세금이나 보조금과 같은 역할을 하게 된다. 이 말은 이 운임구조가 사회적 목적에 이바지하고 경제적 효율의 측면에서 볼 때 손실을 최소화하는 데 기여한다고 볼 수 있다.

미국에서는 트럭이 화물수송을 담당하기 시작한 1920년대 이전까지는 서비스가치이론이 철도산업이나 정부정책의 기초를 이루었다. 그러나 1920년 교통법(Transportation Act)에서 ‘정당한 가치에 합당한 이득(fair return on fair value)’을 운임결정의 원칙으로 정함에 따라 철도는 이익을 최대화하는 운임정책, 즉 이익이 보이는 곳이라면 언제든지 자유로이 운임을 인상하게 되었다. 그러나 그 후 Hoch-Smith 결의안에 의하여 다시 전통적 운임구조의 근거인 서비스가치이론으로 회귀하게 되었으나, 트럭의 성장을 예견하지 못하고 근시안적으로 대처함으로써 결과적으로 철도화물의 상당

한 부분이 트럭에 잠식당하게 되었다.

1930년대의 대공황으로 수송수요가 감소함으로써 과도한 용량초과와 수입손실을 가져왔다. 이를 만회하기 위하여 탄력성이 적은 고가제조상품의 운임을 인상했으나, 트럭의 급속한 성장으로 별 효과 없었다. 제조상품은 철도운임에 매우 민감했으며, 운임인상은 더 큰 비율로 운송수요를 감축시켰다. 트럭산업에서도 초과용량이 많기 때문에 철도운임 인하는 또 트럭운임을 인하시키는 결과를 초래하게 되었다. 철도수입을 증가시키는 유일한 방법은 공급의 탄력성이 적은 살화물과 농산물의 운임을 인상하는 것이었다. 앞서서도 설명한 바와 같이 그렇게 되면 농산물 생산자의 소득이 그만큼 감소하므로 정부에서는 ‘서비스를 제공하는 데 소요되는 비용에 적합한 가장 낮은 운임’으로 규제를 했다(1933년 교통법). 따라서 운임결정의 주요 원칙은 ‘정당한 가치에 합당한 이득’의 원칙은 폐기되고, 철도는 적절한 수송서비스의 유지를 보장하는 정도의 수입만 허용되게 된다. 그러나 이 법은 철도수입을 충분히 보장하지 못한다는 것이 판명되었고, 많은 철도회사가 파산하고 철도시설들이 유기되어 적절한 철도수입을 보장하는 법이 필요하게 되었다.

공황이 가장 심각하던 해인 1935년에 제정된 차량운송법을 포함한 여러 가지 법률은 모두 사업의 신규설립을 제한하고, 가격인하를 규제하며, 기존회사가 적절한 이윤을 가질 수 있도록 하는 공통된 욕구를 기초로 하고 있다. 차량운송법은 가격경쟁의 범위를 수정하기를 원하는 트럭운송업자와 운임안정을 원하는 화주의 지지를 받는 법으로서 과당경쟁을 제한하는 데 목적을 두고 있다. 정부로서는 전통적인 운임구조를 유지하고 농산물의 운임을 낮추기를 원했기 때문에 트럭규제에서 농산물은 제외시켰다. 더욱이 정부는 철도가 적정수준의 이윤을 확보하도록 했다. 그 이유는 철도를 위해서라기보다 철도를 도와줌으로써 전통적인 철도운임체계를 유지할 수 있었기 때문이다.

이렇게 해서 서비스가치이론에 의한 운임구조는 더욱 깊게 뿌리를 내렸으며, 트럭이 철도를 위협하면 정부는 언제나 트럭운임을 인상하게 하는 최저운임규제(minimum rate regulation)를 사용했다.

철도는 또 해운과의 경쟁에서도 고통을 받기 때문에 1940년 교통법에서는 해운운송자에 대해서도 처음으로 규제를 하게 된다. 이 법에 의하면 살화물은 그 종류가 한 tow에 3가지보다 많으면 규제대상이 된다. 이 규제에서도 마찬가지로 서비스가치이론에 의한 운임구조가 그 기초를 이룬다.

19.6.2 최저운임규제의 문제점

교통규제는 교통법에 명시되며, 이것은 바로 국가교통정책의 중요한 부분으로서 다음과 같은 목적을 가지고 있다. 즉, (i) 모든 교통수단을 공정하고 공평하게 규제하며, (ii) 각 교통수단의 고유한 장점을 인정하고 이를 보호하고, (iii) 안전하고 적절하며 경제적이고 효율적인 서비스를 촉진시키고 수송에 있어서의 경제적 여건과 여러 교통수단의 경제적 상태를 육성하고, (iv) 교통서비스에 대해서 부당한 차별이나 특혜 또는 부당한 경쟁을 배제하는 합리적인 운임제도를 시행하고, (v) 관련 행정부서 간의 협조체계를 유지하며, (vi) 공정한 노임과 공평한 근로조건을 촉진시키는 것으로서, 이 모두가 궁극적으로는 국가의 교통체계를 발전시키고 보호하기 위한 목적이라고 볼 수 있다.

살화물에 대해서는 철도와 해운이 경쟁관계에 있으므로 최저운임이 중요한 역할을 한다. 높은 비

용 운송자인 철도는 그 자신의 실지출비용(out-of-pocket cost)과 낮은 비용 운송자인 해운비용 중에서 큰 값을 운임기준으로 정할 수 있다. 철도가 실지출비용보다 적은 비용으로 많은 양을 수송할 지라도 해운과 경쟁이 되는 상품에서는 자유로운 운임경쟁을 회피하게 될 것이다. 이와 같은 상품을 수송하여 철도수입이 현저히 감소하면 철도는 그 손실을 다른 상품수송에서 보충하려 할 것이다. 트럭과의 경쟁이 되는 상품은 운임인상을 할 수도 없고, 또 운임인하도 규제되므로 결국 수입을 보충하는 유일한 방법은 트럭과 경쟁이 될 수 없는 살화물의 운임을 인상하는 것이다. 이렇게 되면 결국 농산물이나 원자재 운임이 상승하게 되므로 전통적인 운임구조가 깨지게 되어 정부로서는 해운과의 경쟁품목에 대한 합리적인 수입을 보장해 줄 규제가 필요하게 된다. 해운을 이용하는 살화물에 대해서 예외를 인정하지 않으려는 정부의 경향은 바로 이 때문이다. 이와 같은 예외는 철도의 생존력을 분명히 손상시킬 것이다. 만약 철도의 위상이 심각하게 손상된다면 전통적인 운임구조는 더 이상 타당성이 없다. 그래서 예외를 없애자는 목적으로 트럭과 해운운송에 대한 규제가 생기게 되었다. 말하자면 전통적인 운임구조를 유지하기 위해서는 재무구조가 튼튼한 철도가 필요하다. 그래서 전통적인 운임구조를 유지하려면 규제는 모든 교통수단으로 확대되어야 한다.

고가제조상품에 대한 운임인하를 정부가 싫어하는 것은 그렇게 함으로써 생기는 평균수입의 감소를 농산물이나 원자재 운임인상으로 보충할 염려가 있기 때문이다. 물론 다른 상품의 운임을 인상하거나 인상하지 않는 것도 철도서비스수요의 탄력성에 좌우된다. 만약 수송수요가 매우 탄력적이라면 철도는 운임을 인하하여 수입증가를 도모할 것이다. 그래서 철도가 고가상품의 운임을 인하하지 못하게 하려면 이들 상품에 대한 트럭운송의 잠식을 막아야 한다.

결국 정부의 운임 및 규제정책은 농산물 및 살화물 운임을 낮은 수준으로 유지하는 것이고, 또 다른 수송수단과의 운임경쟁은 철도의 재무여건을 악화시켜 다른 수송수단과 경쟁이 되지 않는 살화물의 운임을 인상시키게 된다는 염려를 바탕으로 깔고 있다.

여기서 또 한 가지 문제가 되는 것은 전통적인 운임구조를 유지함으로써 발생하는 소득재분배가 바람직한가 하는 것이다. 대부분의 선진국에서는 이러한 재분배를 공공정책의 기조로 삼고 있다.¹⁷⁾ 농촌보조, 원자재의 비축, 철도운임구조, 오지 및 벽지에 대한 교통공급 등은 모두 이와 같은 정책의 일환이다. 이러한 정책이 무기한 받아들여질지는 의문이다. 급속한 도시화, 도시문제의 심각성 등으로 볼 때 관심의 초점이 농촌이나 지방문제에서부터 벗어나거나 최소한 동등한 관심을 불러일으킬 징조가 보이기 때문이다. 그렇게 되면 과거의 재분배 패턴은 사라질 것이고, 따라서 전통적인 운임구조를 지지하던 근거도 약화될 것이다.

● 참고문헌 ●

1. M. R. Bonavia, *The Economics of Transport*, New York, Pitman Publishing Corporation, 1946.
2. A. M. Milne and J. C. Laight, *The Economics of Inland Transport*, London, Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd., 1963.
3. W. H. Dodge, *Economics of Transportation*, Lecture Note, University of Wisconsin-Madison, 1976.
4. J. J. Coyle and E. J. Bardi, *The Management of Business Logistics*, West Publishing Co., 1976.
5. C. M. Warnenburg and Peter Hall, *Von Thunen's Isolated State*, Oxford, Pergamon Press, 1966.
6. C. J. Friedrich, *Alfred Weber's Theory of the Location of Industries*, University of Chicago Press, 1929.
7. E. M. Hoover, *The Location of Economic Activity*, McGraw-Hill Book Co., 1948.
8. M. L. Greenhut, *Plant Location in Theory and in Practice*, University of North Carolina Press, 1956.
9. R. M. Burstall, R. A. Leaver, and J. E. Sussans, *Evaluation of Transport Cost for Alternative Factory Sites-A Case Study*, *Operations Research Quarterly*, 1962. 12.
10. A. A. Kuehn and M. J. Hamburger, *A Heuristic Program for Locating Warehouses*, *Management Science*, IX, No. 4, 1963.
11. M. L. Gerson and R. B. Maffei, *Technical Characteristics of Distribution Simulators*, *Management Science*, X, No. 1, 1963.
12. E. E. Nemmers, *Managerial Economics*, John Wiley and Sons, Inc., 1962.
13. Meyer, Peck, Stenason, and Zwick, *The Economics of Competition in the Transportation Industries*, Harvard University Press, 1959.
14. H. M. Kolsen, *The Economics & Control of Road-Rail Competition*, Sydney University Press, 1968.
15. Gary Fromm, *Transport Investment and Economic Development*, The Brookings Institution, 1965.
16. C. J. Stokes, *Analysis of the Decision to Build the Tejerias-Valencia Autopista*, The Brookings Institution, 1964.
17. Friedlaender, *The Dilemma of Freight Transport Regulation*, The Brookings Institution, 1969.
18. R. S. Nelson and E. M. Johnson, editors, *Technological Change and The Future of the Railways*, Transportation Center, Northwestern University, 1961.
19. C. Colson, *Transport and Tariffs*, Paris, 1903.
20. K. E. Boulding, *Economics Analysis*, New York, 1948.

21. W. M. Acworth, *The Railways and the Traders; A Sketch of Railway Rates Question in Theory and Practice*, London, 1912.
22. W. Z. Ripley, *Railroads; Rates & Regulation*, London, 1912.
23. R. Winfrey, *Economic Analysis for Highway*, International Textbook Co., 1969., p. 78.
24. H. G. Thuesen, W. J. Fabrycky, and G. J. Thuesen, *Engineering Economy*, Prentice-Hall, Inc., 1977.
25. J. B. Lansing, *Transportation and Public Policy*, 1966.
26. R. Winfrey, *Economic Analysis for Highway*, International Textbook Co., 1969.

제 20 장

교통환경

인간환경(human environment), 즉 인간을 중심으로 한 환경의 개념을 정의하면 ‘자연을 통하여 진화과정에서 나온 여러 가지 요소와 문화를 통하여 인간이 만들어 낸 여러 가지 요소의 총체’라 할 수 있다. 이러한 환경은 자연환경, 생활환경, 사회·경제환경으로 구분하기도 하나, 우리나라 환경정책기본법에서는 그 범위를 훨씬 좁혀 ‘자연의 상태인 자연환경과 사람의 일상생활과 밀접한 관계가 있는 재산의 보호, 동·식물의 생육에 필요한 생활환경’으로 구분하고 있다. 자연환경에는 지리적 위치라든가 지형, 기후 등이 있고, 생활환경에는 주택, 상하수도, 교통시설, 휴양·위락시설, 에너지, 토지이용 등이 있다.

기술의 혁신과 진보, 산업의 고도화에 의한 과도한 환경파괴와 훼손, 경제발전에 따른 산업구조의 변화와 인구의 과밀화, 도시집중화 및 생산제조업계의 확장에 의한 환경오염의 광역화와 오염물질의 다중화 등은 직접, 간접적으로 생활환경의 질을 악화시키고 있다. 특히 생활환경을 개선시키기 위한 노력이 다른 생활환경을 악화시키는 경우도 흔히 볼 수 있는 일이다.

환경오염이 중요한 사회문제로 등장하자 우리나라는 국민의 기본적인 권리로서 환경권을 천명한 데 이어 헌법 제35조 제1항에서 ‘모든 국민은 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 권리를 가지며 국가와 국민은 환경보전을 위하여 노력하여야 한다’라고 규정함과 동시에, 제2항에서는 ‘환경권의 내용과 행사는 법률로서 정한다’고 규정하여 구체적이고도 법적인 권리로서의 환경권을 천명하였다. 이와 함께 환경관계법령을 대폭적으로 보완·정비하여 환경영향평가제도를 도입하고, 배출부과금제도를 시행하며, 영향권역별로 관리 기반을 확립하는 등과 같은 환경보전 추진체계를 강화하고 있다. 이러한 활동의 근간이 되는 것으로 환경정책기본법, 자연환경보전법, 환경오염피해분쟁조정법, 대기환경보전법, 소음·진동규제법, 수질환경보전법 등이 있으며, 이들의 목적은 ‘환경오염으로 인한 피해를 예방하고 자연환경 및 생활환경을 적정하게 관리·보전함으로써 현재와 장래의 모든 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있게 함’을 목적으로 하고 있다.

교통의 환경문제는 대기오염, 소음, 진동 등 교통로를 운행하는 차량으로 인해 발생하는 교통공해 뿐만 아니라 교통로의 건설 또는 그 존재에 수반되어 일어나는 동·식물의 생육환경과 자연경관에 관한 문제, 그리고 일조차단(日照遮斷) 등에 관한 문제까지도 포함된다.

20.1 대기오염

우리나라는 쾌적한 환경을 보전하고 환경오염으로부터 사람의 건강을 보호하기 위하여 이황산가스(SO₂), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 미세먼지(PM-10), 오존(O₃), 납(Pb)에 대하여 일정한 환경기준을 정하고, 이의 달성 및 유지를 위하여 노력하고 있다.

교통에 의한 대기오염문제는 1960년대 중반부터 야기되기 시작했으며, 산업화에 따른 급격한 도시화와 자동차의 증가 때문에 배출가스로 인한 건강문제가 발생하자 이에 대한 규제의 필요성이 생기게 되었다. 실제로 로스앤젤레스와 같은 대도시에서 자동차 배출가스로 인한 스모그가 발생하여 인명피해가 생기기 시작하자 미국에서는 1965년 자동차오염방지법을 제정하여 1968년부터 자동차의 배출가스에 대한 규제를 시작하였다.

뒤이어 일본에서는 1973년, 유럽에서는 1975년부터 자동차의 배출가스 중 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NO_x) 및 매연에 대한 규제가 시작되었다. 우리나라에서도 도로운송차량법에서 도로교통의 안전과 질서유지란 측면에서 일부 규제하여 오다가 환경보전법이 제정 공포(1977. 12. 31.)되면서 1980년 1월부터 실제로 자동차 배출가스를 규제하게 되었다. 현재의 대기환경보전법은 1990년 8월 1일 공포하여 1991년 2월 1일부터 시행되고 있는 것이다.

20.1.1 자동차 배출가스의 종류

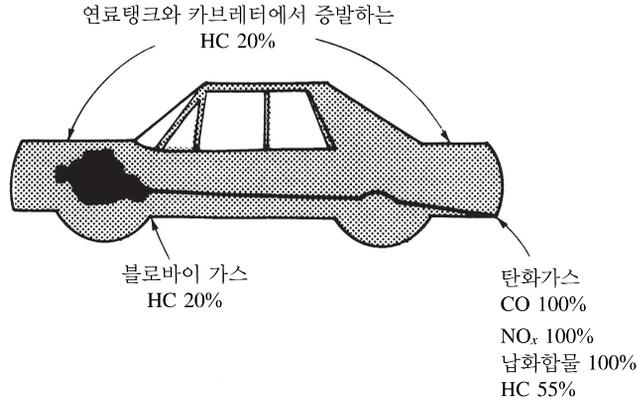
자동차에 사용되는 연료에는 휘발유와 액화석유가스(LPG) 및 경유가 있으며, 일반적으로 자동차에서 배출되고 있는 오염물질은 그 배출경로에 따라 크게 3가지로 나눌 수 있다.

첫째, 연료가 엔진에서 연소한 후 배출관을 통해 배출되는 가스로서 무해한 물질과 유해한 물질로 구성되어 있다. 무해한 물질로는 질소(N₂), 수증기(H₂O), 이산화탄소(CO₂) 등이 있고, 유해한 물질로는 배출가스 규제대상이 되는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NO_x) 및 매연과 그 밖에 아황산가스(SO₂), 오존(O₃) 및 가솔린의 옥탄가 향상제로 첨가되는 4에틸납(Pb(C₂H₅)₄)에 의한 납화합물 등이 있다. 이러한 배출가스의 생성원인을 살펴보면 배출가스 중 탄화수소는 연료의 일부가 미연소된 그대로, 또는 일부 산화·분해되어 배출되는 것이다. 이러한 미연소 탄화수소는 화염전과 후에 연소실 벽면을 따라 타다 남은 혼합기층에 기인하는 것과 실화에 의한 것으로 구분된다.

일산화탄소는 산소의 공급이 부족하여 불완전 연소로 발생하며, 질소산화물은 연소 시의 고온고압에 의해 공기 중의 질소(N₂)와 산소(O₂)가 반응하여 생성되는 것이다. 자동차 배출가스 중에 함유된 질소산화물의 98% 이상은 일산화질소(NO)이다. 일산화질소는 연소온도가 높은 고부하에서 많이 배출되며, 매연은 연소실의 탄소 누적으로 연료가 미연소되어 배출된다.

둘째, 피스톤과 실린더의 틈 사이에 크랭크케이스를 통하여 누출되는 블로바이 가스(blow-by gas)이다. 이는 피스톤의 압축에 의해서 생긴 가스로, 가스의 성분은 85%가 불완전 연소된 연료이며, 탄화수소가 많다([그림 20.1]).

이 블로바이 가스는 자동차 배출가스에 대한 규제가 행해지기 이전에는 크랭크케이스에 있는 환



[그림 20.1] 자동차 배출가스의 오염물질 배출부위와 성분(휘발유 및 LPG 차)

기공에서 그대로 대기에 방출되었지만, 현재는 다시 흡기계로 보내 재연소시키도록 하는 시스템을 모든 차량에서 적용하고 있어 블로바이 가스 배출량은 크게 감소되었다.

셋째, 자동차의 연료장치, 즉 연료탱크나 연료펌프 또는 기화기에서 발생하는 증발가스로서 주성분은 탄화수소이다.

연료탱크에서의 발생은 연료탱크의 온도변화에 의한 내부 증기의 팽창 결과 대기 중에 방출되는 것이며, 기화기에서의 증발은 기화기 내실에서 발생된 탄화수소가 공기여과기를 통해 대기에 확산되는 것으로 증발가스는 과열엔진을 정지시킨 후 주로 발생된다.

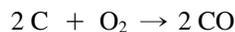
20.1.2 인체에 미치는 영향

자동차에서 배출되는 여러 가지 오염물질들은 각각 다음과 같은 영향을 인체에 미치게 된다.

1 일산화탄소(CO)

자동차 배출가스 중에서 일산화탄소는 배출량이 가장 많으며, 연료의 불완전 연소 때 많이 방출된다. 일반적으로 휘발유엔진이 디젤엔진보다 같은 운전조건하에서 약 2배의 일산화탄소를 발생시키는 것으로 알려져 있다.

일산화탄소는 연소과정 중 산소의 공급이 불충분한 상태에서 탄소가 연소할 때 다음과 같은 화학반응을 일으킨다.



또한 고열의 탄소 속을 CO₂가 통과할 때도 다음과 같은 반응으로 CO가 발생된다.



일산화탄소가 호흡기관에 흡입되면 혈액 중의 헤모글로빈(Hb)과 매우 쉽게 결합하여 혈액의 산

소운반능력을 저하시킨다. 일산화탄소와 헤모글로빈과의 친화력은 산소의 약 300배 이상이므로 인체는 산소의 결핍으로 두통이나 구토증상을 일으키며, 심한 경우 대뇌의 손상을 일으켜 정신장애를 유발하거나 사망에까지 도달하게 된다. 반면에 일산화탄소는 공업적으로는 금속탄화물을 환원시키거나 일산화탄소를 원료로 하여 메틸알코올시안화물 및 금속탄화물의 생산에도 쓰이고 있다.

2 탄화수소(HC)

탄화수소는 탄소와 수소의 화합물로서 정유시설, 자동차 및 페인트 도장시설 등에서 발생되며, 유기물질이 부패할 때 메탄가스 상태로 발생되기도 한다. 탄화수소의 주성분은 알칸류(alkane)인데 이 중에서 메탄(CH₄)이 거의 주성분을 차지하여 총 탄화수소의 거의 반을 차지하고, 그 이외의 주요 물질로는 아세틸렌방향족 등이 있다.

탄화수소는 그 자체로서도 유해한 성분들이 있으나, 태양광선(자외선)의 작용으로 광화학반응에 의하여 알데히드를 포함한 각종 산화성 물질을 생성하게 될 때 피해가 나타난다. 대기 중 탄화수소의 대부분을 차지하는 알칸류는 자연대기 중의 농도하에서는 인체나 식물에 피해를 별로 주지 않는다.

그러나 광화학작용에 의하여 알데히드, 아크롤레인(acrolein), 팬(PAN) 등이 생성되어 피해를 주게 되는데, 포름알데히드(formaldehyde)는 0.06 ppm에서 냄새를 맡을 수 있고, 눈을 자극하는 농도는 사람에 따라 다르나 0.01~1.0 ppm의 범위에 이르며, 2 ppm에서는 호흡에 지장을 준다. 아크롤레인은 0.25 ppm에서 냄새를 맡을 수 있고, 눈도 아프며, 식물은 에틸렌이 성장을 방해하며 잎을 상하게 하여 0.001~0.5 ppm에서 8~24시간 노출되는 경우 피해가 나타날 수 있다.

3 질소산화물(NO_x)

질소산화물은 연소공기 중에 포함된 질소 및 연료 중에 함유된 질소성분이 연소온도에 영향을 받아 산소와 결합하여 여러 가지 질소산화물(NO₂, NO, N₂O, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅)이 생성되는 것이므로 총칭하여 NO_x로 표시한다.

연소온도가 높을수록 많이 생성되며, 이 중에서 대기오염에 제일 영향이 큰 이산화질소(NO₂)는 적갈색의 자극성 냄새가 나는 유독성 기체이며, 연소과정에서 배출된 일산화질소(NO)가 공기 중에서 산화하여 생성되기도 한다(2 NO + O₂ → 2 NO₂).

이산화질소는 온도에 따라 변화가 심하여 온도가 20°C 이하가 되면 무색 기체인 사산화이질소(N₂O₄)가 되고, 또 온도가 20°C 이상이 되면 무색 기체인 일산화질소로 분해되기도 한다. 이산화질소에 의한 인체의 급성피해는 그 자체가 직접적으로 눈에 대한 자극이 없다는 것을 제외하고는 이황산가스의 피해와 거의 일치하는 호흡기 질환, 즉 기관지염, 폐기종 및 폐렴증, 폐렴 등을 유발할 수 있다. 또 탄화수소와 마찬가지로 태양광선에 의해 광화학스모그를 발생시켜 시계를 방해하고 인체의 눈, 목 부분 등 점막을 자극하게 된다.

일산화질소는 혈액 중의 헤모글로빈과 결합하여 산소결핍증이나 신경기능의 감퇴를 일으키며, 심한 경우 폐포에 도착한 후 수 시간 만에 호흡근관을 수반하는 폐부종을 일으키는 매우 독성이 강한

물질이다.

하지만 이황산가스의 경우 천식까지 진전된다는 점과 이산화질소의 경우 섬유성 폐쇄기관지염, 폐암을 일으킬 수 있다는 점에서 둘은 다르다. 이산화질소가 감각기관에 미치는 정도는 이황산가스와 달라서 500 ppm에 1분간 노출된 사람이 가슴 밑부분에 강력한 통증을 느낄 수도 있고, 25 ppm에서 불쾌감을 호소하는 경우도 있다. 냄새를 느끼는 한계농도는 미국에서는 1~3 ppm이라고 알려져 있다. 또한 질소산화물은 산성비 생성과 옥시단트 생성에도 주요 원인물질이 되어 동·식물 및 재산상에 피해를 준다.

4 매연

자동차가 발생시키는 오염물질은 배출가스뿐만 아니라 타이어, 포장 등의 마모분진을 포함한 무기·유기화합물도 있다. 이 중에서도 자동차 배출물질로서 규제의 대상이 되는 것은 디젤차량의 매연이다.

매연은 탄소가 주성분으로 여러 가지 가스 상(狀) 물질을 흡착하고 있으며, 대기에 방출될 때 악취 및 불쾌감을 줄 뿐만 아니라, 시계를 방해하고, 건물 등에 재산피해를 가져온다. 특히 매연입자는 방향족화합물 등 수많은 화학물질을 함유하고 있어 인체의 유해성 여부 등에 대해서는 앞으로 더 연구해야 할 물질이다.

자동차 배출가스에는 이러한 물질 이외에도 여러 가지가 있으며, 그 양은 전체의 약 3% 정도가 된다. 그중 이황산가스는 주로 디젤자동차에서 배출되며, 점막을 자극하거나 기관지염, 천식을 일으키고 악성폐기종을 일으키기도 한다.

납화합물은 항(抗)노킹제로 엔진의 성능을 향상시키기 위하여 휘발유에 옥탄가 향상제로 4에틸납 또는 4메틸납을 첨가할 경우 배출되며, 인체에 축적되면 빈혈, 신경장애를 일으키게 된다.

20.1.3 배출가스의 배출특성

자동차에서 배출되는 오염물질의 배출량은 차량의 종류와 성능, 차량의 주행상태, 차량의 정비상태, 사용연료, 교통조건 및 도로조건 등에 따라 크게 차이가 있다. 엔진의 구조로 볼 때 가솔린엔진은 최대출력을 얻기 위해서 연료의 농도를 약간 크게 설계하여 공연비(공기/연료의 비)를 줄여주어 불완전 연소에 의한 배출가스의 배출량이 다른 엔진에 비해 많다. 가솔린엔진의 경우 공회전(idling) 상태에서 CO가 가장 많이 배출되며, HC는 CO와 대략 같은 경향이나 감속 시에 특히 많이 발생한다. 그 이유는 엔진브레이크에 의한 감속 시 엔진 내에 실화(失火)가 생기는 경우가 종종 있으며, 그때 연료가 그대로 방출되는 데 원인이 있다. NO_x는 CO와는 반대로 부하가 큰 가속 및 정속에서 엔진 내의 연소농도가 높아지면 많이 발생한다.

LPG를 사용하는 자동차의 경우 CO와 HC는 정지 시와 감속 시, NO_x는 가속 시에 가장 많이 배출되고 있다. 경유를 연료로 사용하는 차량인 경우 CO는 모든 운행조건에서 그다지 많이 배출되지는 않으나, HC는 정지 시와 정속 시 및 감속 시, NO_x는 가속 시에 많이 배출되고 있다. 이와

같은 현황으로 볼 때 휘발유와 LPG 연료를 사용하는 자동차에서의 CO와 HC의 배출은 공연비가 맞지 않아 완전 연소가 되지 않을 때 많이 일어나며, NO_x는 이와는 반대로 고온 연소 시인 가속 시에 다량 배출됨을 알 수 있다. 특히 우리나라의 경우 경유차량으로 인한 매연이 크게 문제가 되고 있는데, 이는 연료의 질이나 불완전 연소에도 문제가 있으나, 기준 이상의 과적, 도로사정, 정비불량 등에 보다 큰 원인이 있다.

- ① 주행속도: 주행할 때 단위길이당 배출량을 나타내는 배출계수는 CO와 HC의 경우 속도가 높을수록 작아지는 반면, NO_x는 속도가 높을수록 커진다.
- ② 적재: CO와 HC는 명확하게 특정지를 수 없지만, NO_x는 적재량이 많을수록 배출계수가 커진다.^{1), 2)}
- ③ 종단경사: CO는 경사에 따른 배출계수의 변화가 명확하지 않지만, NO_x는 경사가 커질수록 배출계수가 커진다.
- ④ 운전모드: 일반적으로 자동차는 가속, 정속, 감속, 정지(idling) 과정을 반복하면서 운행하게 된다. 이 4가지의 운전모드가 조합된 실제의 주행상태에서 측정된 배출특성은 정속주행 때와는 달리 매우 복잡하다. 배출가스의 배출량을 구하는 문제는 주로 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 사용하여 해결한다.

예를 들어 미국의 정교한 교통신호 운영프로그램인 UTCS에서는 배출가스 방출량을 각 차량들의 운전모드에 따라 속도, 가속도, 감속도를 0.1초 단위로 시뮬레이션하여 얻는다. 물론 차량마다 배출특성이 다르므로 실제 현장의 세분화된 차종구성비를 사용한다.

각 운전모드에 대한 배출계수를 알면 도로에서의 총 배출가스 배출량을 구할 수 있을 뿐만 아니라, 이를 이용하여 배출가스 관점에서 본 각종 교통운영개선대책(예를 들어 신호시간변경 등)에 대한 효과를 파악할 수 있다. 또 MOE를 배출가스로 하면 배출가스를 최소로 하는 교통운영대책을 수립할 수 있다.

- ⑤ 교통조건 파라미터와 배출계수: 앞에서 운전모드에 따른 배출계수의 개념을 확장하면 결국 자동차의 배출가스 배출량은 지체 또는 정지수(number of stops) 등과 같은 교통조건 파라미터와 밀접한 관계를 가짐을 알 수 있다. 즉 가속·감속시간과 정지시간을 구하지 않고 현장에서나 시뮬레이션 모형을 이용하여 총 지체시간과 정지수를 알면 회귀분석식을 이용하여 배출가스의 총 배출량을 구할 수 있다.

시뮬레이션 결과에 의하면 NO_x는 정지수와는 상관관계가 매우 높은 반면, 정지지체(idling time)와는 상관관계가 매우 낮다고 알려져 있다.

20.1.4 배출가스 측정방법

대기오염의 농도는 일정한 체적의 대기 중에서 오염물질이 차지하고 있는 체적의 비 또는 중량비로 나타낸다. 오염물질이 기체인 경우에는 체적비로 나타내며, 일반적으로 ppm(parts per million)

이 사용되는 경우가 많다. 1 ppm은 1 m³의 대기 중에 1 cm³(ml, cc)의 오염기체가 존재하는 상태이다. 측정치의 크기에 따라서는 %, pphm(parts per hundred million), ppb(parts per billion) 등이 사용되며, 이들의 관계는 1 ppm = 10⁻⁴% = 10²pphm = 10³ppb이다.

또 오염물질의 부유입자상 물질과 같은 고체인 경우에는 대기의 단위체적당 중량으로 나타내며, mg/m³ 단위가 많이 쓰이고, 때에 따라서는 μg/m³도 사용된다. 이들의 관계는 1mg/m³ = 10⁻³g/m³ = 10³μg/m³이다.

배출가스 및 대기 중의 오염물질 농도는 그 측정방법이 다르면 그 값이 다르게 나온다는 것을 누구나 알 수 있다. 따라서 배출가스의 농도를 측정하기 위해서는 어떤 측정법을 사용해서 측정해야 하는지를 정해줄 필요가 있다.

일반적으로 CO의 농도는 비분산형적외선 분석계(Non-Dispersive Infrared Gas Analyzer; NDIR)로 측정을 하며, HC의 측정에는 NDIR 또는 수소염이온화 분석계(Flame Ionization Detector; FID)가 사용되고, NO_x의 측정에는 NDIR 또는 비분산형자외선 분석계(Non-Dispersive Ultraviolet Gas Analyzer; NDUV) 혹은 그 둘 다 사용하고 있다.

측정장소나 측정지점은 조사의 목적, 조사대상이 되는 오염물질, 지형, 지리조건, 도로형태, 기상 조건, 교통조건 등을 고려하여 선정된다. 일반적으로 대기오염 농도값이 고르지 못하여 수많은 자료를 수집해야 하므로 측정기간은 가능한 한 장기간 측정하는 것이 바람직하다.

환경기준의 장기평가에서는 연간 6,000시간 이상의 측정을 해야만 되나, 도로연변의 측정에서는 시간과 비용면에서 제약을 받기 때문에 측정시간을 단축하는 경우가 많으며, 대기확산조사에서는 1~2주 정도로 조사한다. 또 현황파악이나 환경기준과 비교하기 위하여 측정을 하는 경우에는 계절마다 연속 7일 이상 측정을 하거나 혹은 가까이 있는 상시감시지점의 값과 상관관계를 검토하여 연평균값을 예측할 수도 있다. 측정을 할 때는 측정대상이 되는 오염물질뿐만 아니라 대기오염에 큰 영향을 주는 기상조건(풍향, 풍속, 일사량, 온도, 습도, 기후 등)과 차종별 시간교통량, 평균주행 속도 등과 같은 교통조건도 동시에 측정해야 한다.

측정점은 교차로 및 교통혼잡이 심한 도로 언저리, 인도의 바깥쪽 지상 1.2~2.0 m의 높이에서 샘플채취를 하고 평면적인 대기오염상태를 측정한다. 교차로는 네 모퉁이의 인도 바깥쪽에 측정용 설치를 한다.

NDIR과 같은 연속측정에서는 채취된 시료를 여러 차례 측정한다. 그러기 위해서는 일정한 유속으로 일정한 시간 동안 채취할 수 있는 펌프와 비닐백이 붙은 채취백이 필요하다. 한 번의 시료 채취시간이 너무 짧으면 측정값의 변동이 크나, 그렇다고 채취시간을 길게 잡으면 시간별 변화를 알 수가 없다.

20.1.5 배출가스의 확산

차량에서 배출된 배출가스는 바람에 의한 이류와 확산에 의해 농도가 얇어진다. 이류란 바람에 의해 오염물질이 바람이 불어 가는 방향으로 운반되는 것으로서, 농도는 풍속에 비례해서 얇어진다.

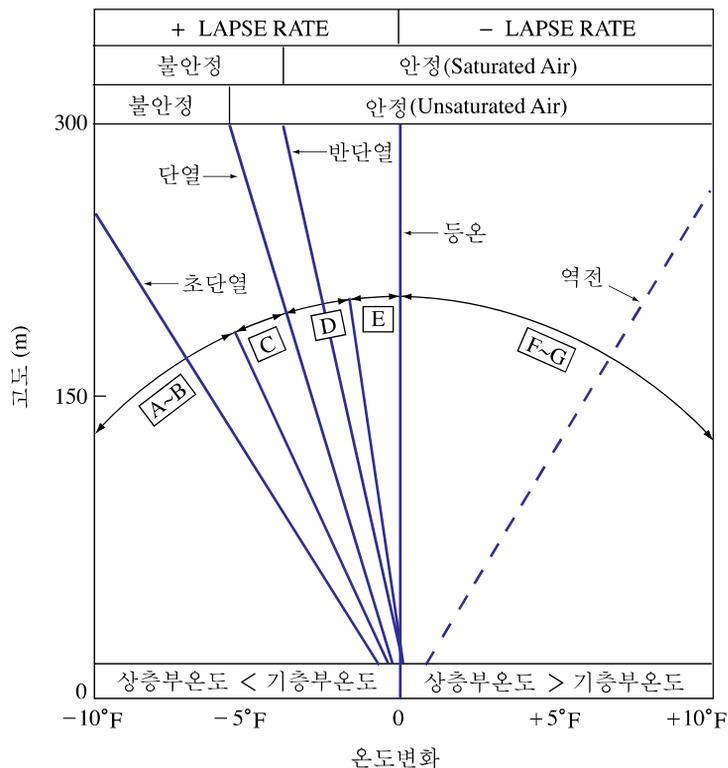
풍속은 지면조도 때문에 수직방향으로 차이가 나며, 일반적으로 지표면에 가까울수록 작다.

확산이란 난류에 의해 오염물질이 여러 방향으로 분산·희석되는 것으로서, 난류는 풍속의 수직 방향의 차이, 지면조도, 지형, 도로구조, 차량주행, 기온 등에 의해 생긴다.

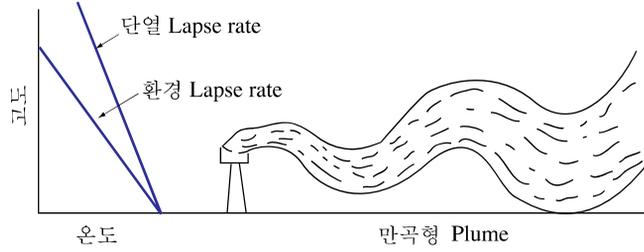
기온의 수직방향 분포는 대기의 수직방향의 움직임에 크게 영향을 준다. 일반적으로 대기는 지표면에서 상공으로 갈수록 기온이 낮아지지만, 이 기온의 차이가 크면 이를 단열현상(adiabatic)이라 하고, 이때는 공기의 상하 이동이 크며, 따라서 바람의 힘도 크고, 이때의 대기상태를 불안정상태에 있다고 한다. 반면에 수직방향의 기온차가 작으면 공기의 상하 이동이 없고 바람도 없어 대기는 안정상태에 있다. 만약 고도에 따른 온도가 상층부가 높고 아래가 낮으면 이를 기온의 역전현상(inversion)이라 하고, 그 기층을 역전층이라 하며, 이때 대기는 극히 안정상태가 된다.

이와 같이 고도에 따른 기온의 체감률을 Lapse rate라고 하며, 이 값이 양이면 불안정상태에 가까워지고 음이면 안정상태에 가깝다. 또한, Lapse rate에 따라 대기의 안정도를 A에서부터 F까지 나타내고 있는데, 이를 Pasquill 안정도라고 부른다. [그림 20.2]는 Lapse rate와 Pasquill 안정도의 관계를 나타낸 것이다. [그림 20.3]은 점배출원(point source)을 가진 오염물질의 확산 패턴을 Pasquill 안정도에 따라 구분하여 나타낸 것이다.

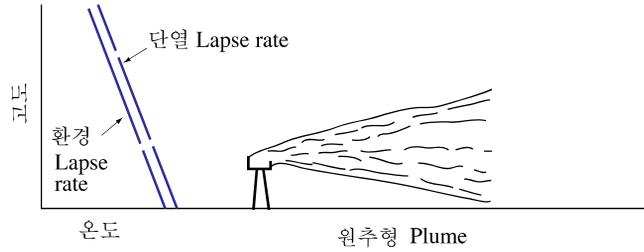
대기의 안정도를 판단하기 위해서는 Lapse rate를 알아야 하나, 이를 실제 측정하기가 어렵기 때문에 기상관측의 자료를 이용하여 예측하는 경우가 많다. 일본에서는 Pasquill 안정도를 지상 10 m에



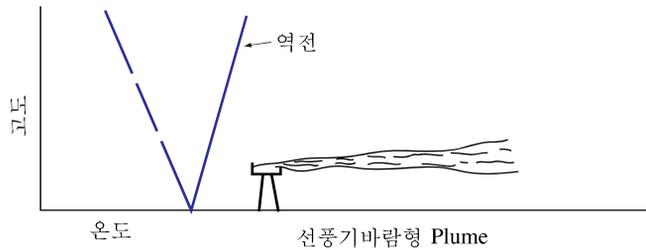
[그림 20.2] Lapse rate와 Pasquill 안정도



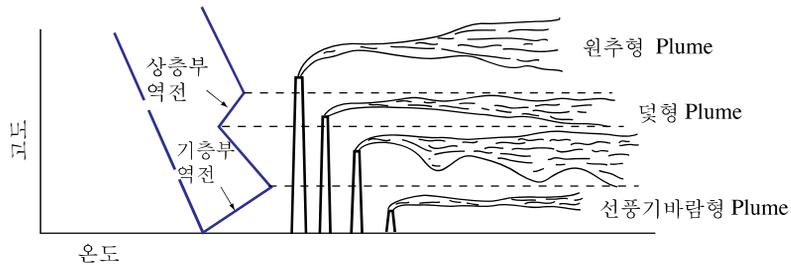
(가) Pasquill 안정도 'A-B': 불안정



(나) Pasquill 안정도 'C-D': 중립



(다) Pasquill 안정도 'E-F-G': 안정



[그림 20.3] 대기안정도와 Plume 형태(확산 특성)

서의 풍속과 일사량 및 구름의 양에 의해 판단하는 방법을 쓴다.

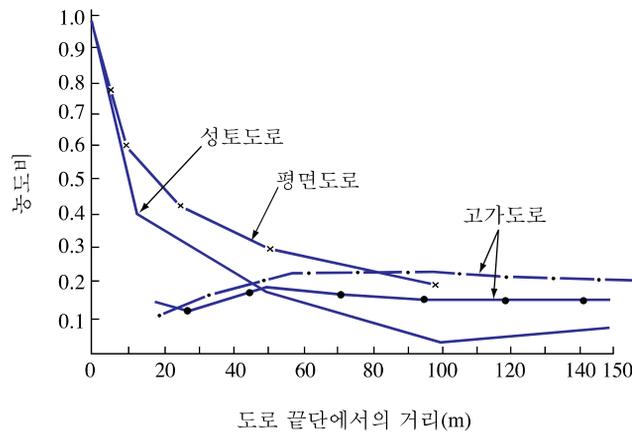
대기의 안정도가 높고 수평방향의 바람이 없으면 오염된 대기가 확산되지 않아 차량에 의한 배출 가스가 그 주위를 광범위하게 오염시킬 때가 있다. 심할 경우에는 도로로부터 400~500 m 떨어진 주택가에도 같은 오염농도를 나타내며, 고도 100 m까지도 차이가 없을 수가 있다. 특히 도심지와 같이 고층빌딩이 밀집해 있는 지역에서는 이와 같은 현상이 더욱 심하다.

이 외에도 광화학 스모그현상과 같이 더욱 광역적인 배출가스의 확산현상이 있으나, 이것에 대해

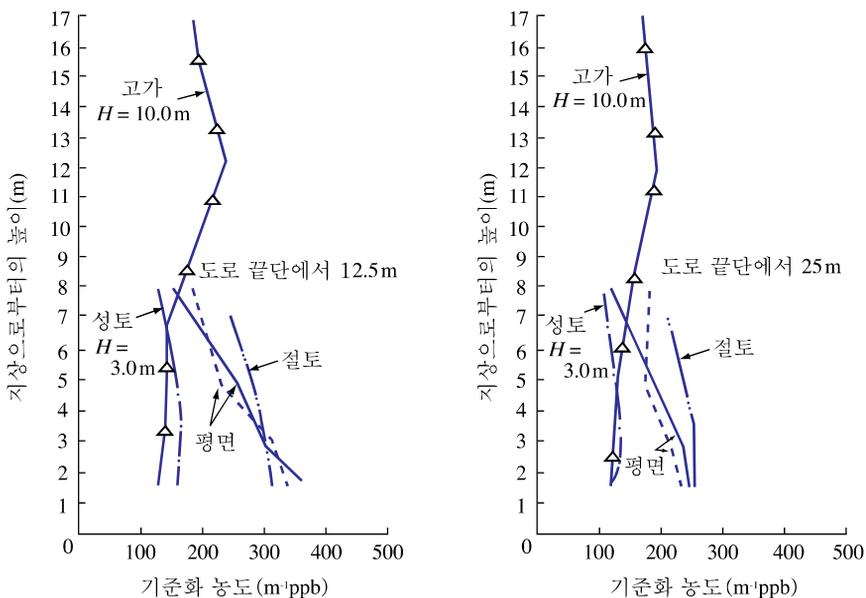
서는 아직 깊이 연구된 바가 없다.

차량에 의한 배출가스가 확산되었을 때 도로 주위의 배출가스 농도변화는 지점마다 다르다. [그림 20.4]는 도로차량에서 배출된 NO_x의 농도를 도로 끝에서 거리에 따라 나타낸 값이며, 측정점은 지상 1.5 m이다. 종축은 도로 끝에서의 농도를 1로 했을 때 해당 거리에서의 농도비를 나타낸 것이다. 이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 평면도로에서는 도로 끝에서 약 20 m 떨어진 곳에서의 농도는 50%로 떨어지고, 100 m 떨어지면 20% 정도밖에 되지 않는다. 한편 성사된 도로는 거리의 증가에 따라 농도의 감소가 더욱 현저하며, 고가도로는 거리에 따른 농도변화가 비교적 적다.

[그림 20.5]는 도로 끝에서 12.5 m와 25 m 떨어진 지점에서 수직방향의 농도분포를 측정한 것이



[그림 20.4] 자동차 배출가스의 거리감쇠(NO_x)



[그림 20.5] 자동차 배출가스의 수직농도 분포(NO_x)

다. 이 그림에서 볼 수 있는 것은 도로 종류와 관계없이 노면의 약간 위, 즉 배출가스 배출원의 위치 정도의 높이에서 농도가 가장 크고, 그 높이에서 수직방향으로 멀어짐에 따라 농도가 떨어진다. 또 도로 끝에서 멀리 떨어진 쪽이(25 m) 분포폭이 넓어 오염물질이 수직방향으로 더욱 확산되고 있음을 알 수 있다.

배출가스 농도의 시간별 변화는 배출가스의 종류와 관계없이 오전보다 오후가 더 높은 수치를 나타내는 경향이 있다.

20.2 교통소음

소음은 일반적으로 ‘원치 않는 음’ 또는 ‘바람직하지 않은 음(필요 이상으로 큰 음과 같은)’을 말한다. 그러므로 소리를 발생시키는 모든 것은 소음원이 될 수 있다. 그러나 모든 소음원을 규제하기란 사실상 불가능하다. 따라서 소음·진동규제법에서는 소음에 대한 정의를 ‘기계, 기구 등에서 발생하는 강한 음’으로 규정하여 규제범위를 좁히고 있다.

소음공해는 인구의 증가와 도시집중, 생활양식의 변화 및 공업화의 실현 등으로 인간이 거주하는 곳이면 시간과 공간의 제약을 받지 않고 발생하고 있다. 이러한 소음은 신체적, 심리적으로 악영향을 끼쳐 정신적, 정서적으로 불안감을 조성하고 대화장애, 독서방해, 작업능률의 저해 등 그 피해가 증가하고 있다.

우리나라에서는 생활환경의 보전과 인간의 건강을 보호하기 위하여 소음환경기준을 정하고 있다. 이 기준은 행정상의 목표로 설정되는 것으로서, 각 소음발생원에 대한 직접적인 규제값으로서의 역할을 하는 것이 아니라 소음저감대책을 수립하는 데 목적을 두고 있다. 각 지역별로 기준을 정하여 소음도가 낮은 지역은 그 기준을 넘지 않도록 현 상태를 유지하게 하고, 소음이 심하여 그 기준을 넘는 지역은 기준 이하가 되도록 소음의 배출규제나 지역규제대책을 수립한다.

자동차, 기차, 비행기 등이 발생시키는 교통소음은 차량대수의 증가로 인해 점차 그 피해범위가 확대되고 있으며, 이외에 자동차엔진 및 차량구조 자체의 문제점과 주행상태(과속), 정비불량, 과적, 타이어, 도로구조 등에 의해 소음이 발생한다. 대체로 우리나라 도로교통소음의 양상은 도시의 경우 상·공업지역은 물론 도시의 주거지역까지 교통소음의 영향권 내에 있으며, 특히 고속도로 등 각종 도로망의 확장으로 농촌에 이르기까지 교통소음의 영향권이 확대되고 있다.

철도소음의 경우 기차의 엔진 및 경적소음과 주행 시 궤도의 마찰음이 주요 발생원이나, 현재의 제도상 규제되지 않고 있다. 더욱이 철도는 대부분 도심을 통과하고 있기 때문에 철도변에 위치한 많은 주택들이 소음공해를 받고 있다. 최근에는 항공기의 운행횟수증가와 공항, 활주로의 확장으로 인해 항공기에 의한 소음피해는 앞으로 지속적인 사회문제로 남을 가능성이 있다.

20.2.1 소음기준

음이란 사람의 귀에 감각을 일으키게 하는 외부로부터의 물리적 자극을 말한다. 이 자극은 탄성매질의 주기적인 밀도변화이지만, 일반적으로 말하는 음이란 공기를 매질로 하는 진동수 20~20,000 Hz의 밀도변화이다. 이 주파수보다 높거나 낮은 영역은 초음파 또는 초저주파로 불리는 것으로 사람의 청각으로는 감지되지 않는다.

주파수란 초당 주기적인 진동수를 말하는 것으로서 Hertz(Hz)로 나타낸다. 파장이란 한 주파의 길이를 나타내는 것으로서 소리의 전파속도를 C 라 하고, 주파수를 f , 파장을 λ 라 할 때 $C = \lambda \cdot f$ 의 관계를 갖는다.

소리를 전파하는 매질로는 기체, 액체, 고체 어느 것이나 가능하며, 진동으로 인한 매질 어느 한 부분에 입장의 변위가 생기면 인접한 입자에 변위를 주어 파장이 전파되어 간다. 이는 매질이 탄성과 관성을 갖기 때문이며, 따라서 전파속도는 매질의 종류와 상태에 따라 달라지고 진공 중에서는 이러한 전파가 발생하지 않는다.

공기 중에서 음파의 전파속도는 0°C, 1기압일 때 331.5 m/s이며, 일반적으로 기온 $t^\circ\text{C}$ 에서의 음속 C 는 다음과 같은 근사식으로 구한다.

$$C = 331.5 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} \approx 331.5 + 0.61t \quad (20.1)$$

1 음의 척도

음의 척도에는 그 물리적인 강약을 나타내는 물리적 척도와 감각적인 대소를 나타내는 감각적 척도가 있다. 물리적인 척도에는 음압 레벨, 음의 강도 레벨, 음원의 파워 레벨, 옥타브 밴드 레벨이 있으며, 감각적 척도에는 음의 크기 레벨, 소음 레벨이 있다.

(1) 음압 레벨

음은 공기에 대한 주기적인 압력변화에 의하여 감각되는 것이다. 그때의 압력의 변화분을 음압이라고 하며, 이것을 다음과 같은 식을 이용하여 데시벨(dB) 척도로 나타낸 것이 음압 레벨(Sound Pressure Level: L_p)이다.

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} \text{ (dB)} \quad (20.2)$$

여기서 P_0 는 1,000 Hz에서 정상인이 들을 수 있는 최소가청음압으로서 그 크기는 $2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$ ($1 \mu\text{bar} = 1 \text{ dyne/cm}^2 = 1.02 \times 10^{-3} \text{ g중/cm}^2$)이며, P 는 그 음의 압력이다.

(2) 음의 강도 레벨

음파의 진행방향에 수직인 단위면적을 단위시간에 통과하는 에너지의 크기를 음의 강도 I 라고 한다. 앞에서 설명한 어떤 음의 음압을 P , 입자속도를 v 라고 하면, 음의 강도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = \frac{P^2}{\rho c} = \rho c v^2 \quad (20.3)$$

여기서 ρ 는 매질의 밀도, c 는 음속으로서 ρc 는 매질의 고유음향저항이다. 20 °C에서 공기의 밀도를 1.205 kg/m³, 음속을 343 m/s라 하면 공기의 ρc 는 41.3 dyne · s/cm³ = 0.042 g중 · s/cm³이다. 따라서 $I_0 = P_0^2/\rho c \approx 10^{-16}$ watt/cm²(1 watt/cm² = 10⁷ dyne · cm/s · cm²) 또는 10⁻¹² watt/m²이다.

여기서 음의 강도 레벨(Sound Intensity Level: L_I)은 다음 식과 같이 나타낸다.

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \text{ (dB)} \quad (20.4)$$

표준상태에서의 평면진행파에 대해서는 $I/I_0 = (P/P_0)^2$ 이므로 결국 L_I 값과 음압 레벨 L_P 값이 같아지며, 그 외의 영역에 대해서도 두 값은 비슷한 크기를 갖는다.

(3) 음원의 파워 레벨

단위시간당 음원으로부터 방출되는 음향에너지의 크기를 dB로 나타낸 것을 음원의 파워 레벨(L_W)이라고 하며, 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$L_W = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \text{ (dB)} \quad (20.5)$$

음원으로부터 방출되는 에너지가 매초 w (와트)로 모든 방향으로 균등하게 방출된다면 음원으로부터 l [m]만큼 떨어진 곳에 있는 1 m² 면적을 통과하는 에너지 I 는 반경 l 인 구의 표면적이 $4\pi l^2$ 이므로 $I = w/4\pi l^2$ 이다. 또 기준 음향출력 W_0 는 $W_0 = I_0 \times 1 \text{ m}^2 = 10^{-12}$ 와트로 한다. 따라서

$$\begin{aligned} L_W &= 10 \log_{10} \left(\frac{I \cdot 4\pi l^2}{I_0 \times 1} \right) \\ &= 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} + 10 \log_{10} 4\pi l^2 \\ &= L_I + 10 \log_{10} 4\pi l^2 \\ &= L_I + 20 \log_{10} l + 11 \end{aligned}$$

앞에서도 언급한 바와 같이 $L_I \approx L_P$ 이므로 위 식을 다시 쓰면,

$$L_P = L_W - 20 \log_{10} l - 11 \quad (20.6)$$

반사면을 가진 반(半)자유공간(반구)에서의 음압 레벨은 다음과 같다.

$$L_P = L_W - 10 \log_{10} 2\pi l^2 \approx L_W - 20 \log_{10} l - 8 \quad (20.7)$$

일반적으로 단단한 지면상에서 음은 반구형상으로 확산된다고 생각하기 때문에 식 (20.7)을 적용한다.

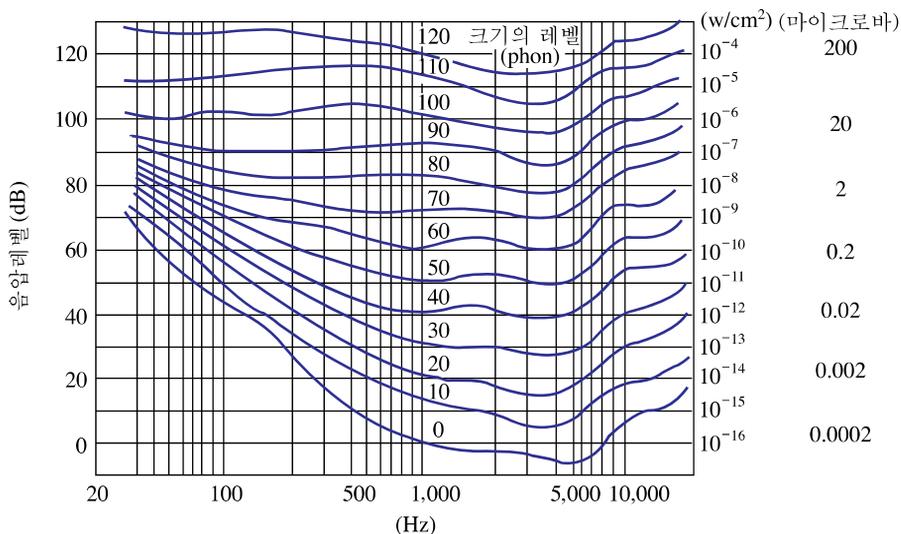
(4) 음의 크기 레벨

소리를 들었을 때 감각의 정도, 즉 주관적인 감각량을 음의 크기라고 한다. 음의 크기 레벨(Loudness Level)을 나타내는 단위로는 phon을 사용한다. 1,000 Hz에서 어떤 음의 크기는 그때의 음압 레벨 값과 같은 phon 값을 가진다고 가정을 하고(1,000 Hz에서 음압 레벨이 60 dB이면 그 음의 크기는 60 phon이라 한다), 1,000 Hz 이외의 음에 대해서는 1,000 Hz 음과 비교하여 같은 크기의 음이면 1,000 Hz에서의 phon과 같다고 본다. 예를 들어 [그림 20.6]에서 100 Hz 음의 음압 레벨이 70 dB일 때 음의 크기는 50 phon이다. 음압 레벨과 음의 크기 레벨과의 관계를 나타내는 이와 같은 도표를 등감곡선이라 하며, Fletcher-Munson의 등감곡선이 대표적으로 사용된다. 이 곡선은 소음계 등의 규격결정에 널리 사용된다. 0 phon은 음으로서 들을 수 있는 최저한도이며, 120 phon 이상의 음은 듣는 데 고통을 느낀다.

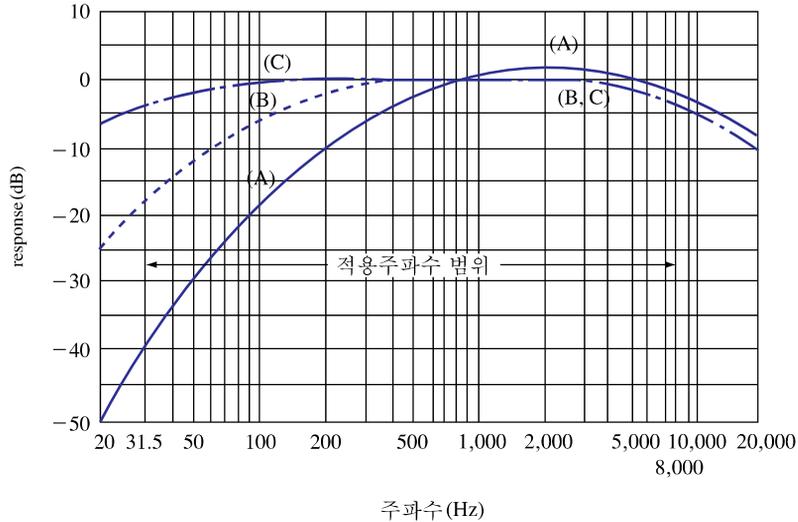
(5) 소음 레벨

음의 물리적인 강도와 사람이 청각으로 느끼는 크기 사이에는 복잡한 관계가 있다. 따라서 음의 크기를 정확하게 나타낼 수 있는 척도를 정하거나 이를 측정하기 위한 측정기를 만들기가 매우 어렵다. 그러나 소음의 평가나 그 감소대책을 수립하기 위해서는 소음의 크기를 근사적으로 측정해야 한다. 소음의 크기를 측정하는 소음계로는 국제적으로 IEC(International Electrotechnical Commission) 규격이 있고, 우리나라에도 한국공업규격(예컨대 KSC 1502, 보통소음계)이 있다. 소음 레벨이란 이와 같은 규격에 적합한 소음계로 측정한 값을 말한다.

소음계에는 A, B, C 3종의 청감보정회로가 내장되어 있으며 A는 40 phon의 등감곡선, B는 70 phon, C는 85 phon 이상의 등감곡선에 대응하고 있다. 따라서 레벨의 크기에 따라 A, B, C로 구분하여 사용하면 대략적인 음의 크기 레벨 값(phon 수)을 얻을 수 있다. [그림 20.7]은 소음계특성의 기본형을 나타낸 것으로 가청주파수 범위에서 A, B, C 각 회로의 주파수 response를 나타낸 것이다.



[그림 20.6] Fletcher의 등감도곡선



[그림 20.7] 소음계특성의 기본형

예를 들어 A 특성 곡선(40 phon 기준)에서 100 Hz의 response가 -20 dB이란 말은, 100 Hz에서 음압 레벨이 60 dB인 소음이 40 phon으로 들린다는 것이다.

그러나 근래에 와서 소음이 사람에게 미치는 영향은 음의 크기뿐만 아니라 ‘시끄러움’도 고려하게 되어, 보다 큰 음에 대해서도 A 특성을 사용하는 것이 측정값과 사람에게 미치는 영향 간의 상관관계를 잘 설명하는 것으로 알려졌다. 따라서 세계적으로 소음 레벨은 모두 A 특성으로 측정하고 있기 때문에 소음이라고 하면 phon(A) 또는 dB(A)의 단위로 나타낸다. 즉, 위의 예에서 100 Hz, 음압 레벨 80 dB의 소음이 실제 청각으로는 60 dB(A)로 들린다는 것이다.

2 dB값 계산

dB이란 소리의 어떤 양과 기준값과의 비를 상용대수화한 것이다. 따라서 소음과 같이 복합음의 크기를 구하거나 복합음의 크기에서 단음의 크기를 구하기 위해서는 복잡한 계산이 필요하다.

여러 개의 음원으로부터 나오는 각 음의 dB값을 알면 이들이 합해진 복합음의 dB을 알 수 있다. 예를 들어 각 음의 크기를 L_1, L_2, \dots, L_n dB이라고 하면 복합음의 크기 L 은 다음 식과 같이 구한다.

$$L = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \quad (\text{dB}) \quad (20.8)$$

반대로 복합음의 크기 L 을 알고, 또 이를 구성하고 있는 각 음들 중에서 어느 한 음의 크기를 모를 때도 위의 방법을 응용하면 된다. 예를 들어 두 개의 음으로 합성된 복합음의 크기가 L dB이고, 그중 어느 한 음의 크기가 L_1 dB일 때, 나머지 한 음의 크기는 다음 식과 같이 구한다.

$$L_2 = 10 \log_{10} (10^{L/10} - 10^{L_1/10}) \quad (\text{dB}) \quad (20.9)$$

예제 20.1 크기가 20 dB, 30 dB, 40 dB인 세 음을 합한 복합음의 크기를 구하여라.

풀이 $L = 10 \log_{10}(10^{20/10} + 10^{30/10} + 10^{40/10})$
 $= 10 \log_{10}(11,100)$
 $= 40.45 \text{ dB}$

20.2.2 교통소음의 발생과 전파

교통소음의 대부분은 자동차에 의한 것으로서 차종, 차량구조, 주행속도, 주행방법, 도로경사, 포장상태 등에 의해 그 크기가 달라진다. 자동차 소음에는 차내 소음과 차외 소음이 있으며, 여기서는 차외 소음만을 다룬다.

자동차가 발생시키는 소음은 동력 소음과 주행 소음으로 대별되며, 동력 소음에는 엔진음, 흡기음, 배기음, radiator fan음, 동력전달기관음 등이 포함되어 있으며, 엔진의 회전속도, 토크 부하 등에 따라 그 크기가 달라진다. 주행 소음은 타이어 자체 및 타이어 노면 간에서 발생하는 음이기 때문에 타이어의 tread pattern, 타이어 강성, 주행속도, 하중, 노면상태 등에 따라 변한다. 일반적으로 정상적인 주행속도 범위에서는 타이어음이 동력 소음보다 크다.

1 도로 및 교통조건과 파워 레벨

자동차가 최고속 기어로 일정한 속도를 유지하며 주행하고 있는 경우에는 속도와 소음 레벨 간에는 대략 다음과 같은 선형관계를 갖는다.

$$L_w = 0.2v + C \text{ dB(A)} \quad (20.10)$$

여기서 v : 평균주행속도(40 kph 이상)

C : 상수(승용차: 85, 소형화물차: 87, 대형차량: 94)

만약 전체차량에 대한 평균 파워 레벨을 구하기 위해서는 차량 1대의 평균 음향에너지 W_a 를 구하여 이에 대한 파워 레벨을 구한다. 즉

$$W_a = \frac{W_1 \cdot A_1 + 3.2W_1 \cdot A_2 + 16W_1 \cdot A_3}{A_1 + A_2 + A_3} = W_1 (a_1 + 3.2a_2 + 16a_3)$$

여기서 W_1 : 승용차 소음원의 파워(소형화물차 및 대형차 소음원의 파워는 승용차의 3.2배 및 16배로 한다)

A_1, A_2, A_3 : 승용차, 소형화물차, 대형차량대수

a_1, a_2, a_3 : 승용차, 소형화물차, 대형차량구성비($a_1 + a_2 + a_3 = 1.0$)

따라서 평균차량 1대의 소음원 파워 레벨은 다음과 같다.

$$L_w = 10 \log \left(\frac{W_a}{W_0} \right) = 10 \log \frac{W_1 (a_1 + 3.2a_2 + 16a_3)}{W_0}$$

$$\begin{aligned}
&= 10 \log \frac{W_1}{W_0} + 10 \log (a_1 + 3.2a_2 + 16a_3) \\
&= 0.2v + 85 + 10 \log (a_1 + 3.2a_2 + 16a_3) \text{ dB(A)} \quad (20.11)
\end{aligned}$$

승용차와 대형차만 있는 경우는 $L_w = 0.2v + 85 + 10 \log (a_1 + 10a_3)$ 로 나타낸다($a_1 + a_3 = 1.0$).

경사진 도로를 주행하는 자동차의 소음 레벨은 주행조건에 따라 달라진다. 예를 들어 경사가 비교적 작고 경사구간에 진입하는 속도가 크면 최고속 기어 그대로 등판할 수 있기 때문에 소음은 매우 작다. 반대로 경사가 크고 구간이 긴 경우에는 기어를 낮추게 되므로 소음은 크게 증가한다. 또 경사 구간을 내려올 때 기어를 낮추어 엔진 브레이크를 사용할 경우에도 소음은 증가한다.

일반도로의 교외부에서 경사가 $-5 \sim 5\%$, 구간길이가 100 m 이하인 경우에는 최고속 기어로 등판할 수 있기 때문에 이 구간의 중간점에서 측정된 소음의 증가분은 다음과 같다.

$$\Delta L_i = \frac{1}{3}i \text{ dB(A)} \quad (20.12)$$

여기서 ΔL_i : 평탄한 지형을 주행할 때의 소음 레벨과 비교한 증가분

i : 상향경사(%)

또 경사가 $-7 \sim 7\%$ 이고, 경사구간길이가 100 m 이상인 지방부 간선도로에서의 소음 레벨 증가분은 다음 식과 같다.

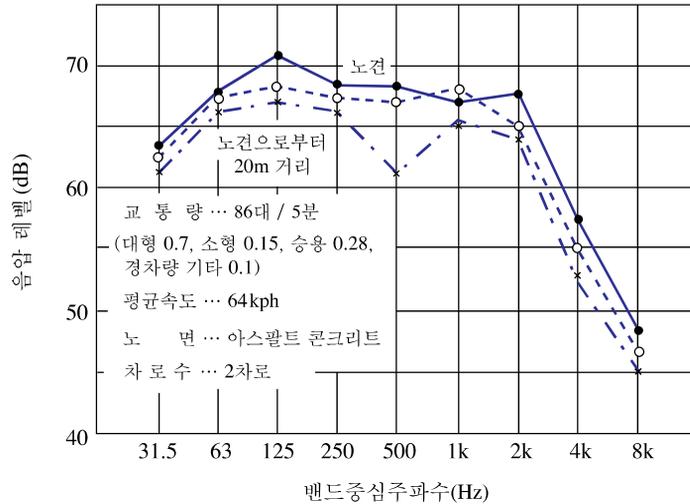
$$\Delta L_i = 0.3i + 0.1i^2 \text{ dB(A)} \quad (20.13)$$

정상적으로 주행할 때 타이어에서 발생하는 소음은 tire tread의 모양에 따라 달라지는 pattern noise와 노면과의 충격으로 생기는 타이어의 탄성진동에 의한 road noise가 있다. 노면이 평탄할수록 pattern noise가 커지고, 노면에 요철이 심할수록 road noise가 커진다. 이와 같은 현상에 대한 자료나 연구는 그다지 많지 않다.

가속할 때 발생하는 소음은 가속이 끝난 후 정상주행할 때의 소음 레벨과 거의 같다. 일반도로에서의 가속 소음은 40 kph 속도로 정상적으로 주행할 때의 소음 레벨과 같으며, 고속도로에서의 가속 소음은 70 kph 속도로 정상주행할 때의 소음 레벨과 유사하다.

차량에서 방출되는 소음에는 방향성이 있다. 보통 측방의 레벨보다 상방의 레벨이 5~10 dB(A) 만큼 작다. 따라서 도로변에서 측정된 값과 식 (20.7)을 사용하여 구한 파워 레벨(L_w)은 음원 파워의 참값보다 약간 큰 값을 가진다.

차량소음의 주파수 구성은 차종에 따른 속도와 가속도 등에 따라 상당히 차이가 나며, 정상주행을 하는 일반국도 구간에서 측정된 주파수별 음압 레벨은 [그림 20.8]과 같다. 이와 같은 소음의 주파수 특성은 소음차폐, 흡음효과 등과 관련시켜 소음방지 대책을 수립하는 데 사용된다.



[그림 20.8] 연도 소음의 밴드 레벨

2 소음의 전파특성

음원으로부터 방출된 음은 기하학적으로 공간으로 확산되기 때문에 그 강도는 전파거리의 제곱에 비례해서 감소된다. 음의 감쇠는 이 밖에도 지형, 건물에 의한 차폐, 대기에 의한 흡수, 물체 표면에 서의 스킵, 기상요인 등에 의하여 추가감쇠가 일어난다.

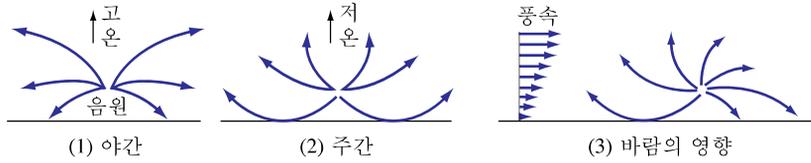
자유공간에서 방출되는 점음원의 출력을 W 라 할 때, 여기서 r 만한 거리에 있는 관측점에서 단위 면적당 단위시간에 통과하는 음의 에너지, 즉 음의 강도는 I 는 $W/4\pi r^2$ 이며, 음원의 파워 레벨을 L_W 라고 할 때 관측점의 음압 레벨 L_p 는 $L_W - 20 \log_{10} r - 11$ 이 되며, 반자유공간에서는 $L_p = L_W - 20 \log_{10} r - 8$ 이 된다는 것은 앞서서도 설명한 바 있다. 만약 거리가 2배가 되면 이들 값에서 6 dB만큼 감쇠된다.

선음원의 출력을 W 라 할 때 단위길이당 방출되는 음의 방출면은 자유공간일 때 원통의 단위길이 당 표면적 $2\pi r$ 과 같으며, 반자유공간에서는 πr 과 같기 때문에 음의 강도 $I = W/2\pi r$ 또는 $W/\pi r$ 이다. 따라서 선음원에서 r 만한 거리에서의 음압 레벨은 $L_W - 10 \log r - 8$ (자유공간)과 $L_W - 10 \log r - 5$ (반자유공간)이다. 만약 거리가 두 배가 되면 이들 값에서 각각 3 dB만큼 감쇠된다.

면(面)음원에서는 그 면이 무한히 넓다고 가정하면 음의 에너지 확산은 없고, 따라서 거리에 따른 감쇠가 생기지 않는다.

흡음성 물질의 표면 가까이 스쳐가는 음은 그 에너지의 일부를 소실하게 된다. 일반적으로 도로포장면에서는 0~5 dB/100 m, 보통지면에서는 5 dB/100 m, 풀밭에서는 5~10 dB/100 m의 감쇠가 일어난다.

강우나 강설로 인해서도 음의 전파에 변화가 온다. 또 지표면 상공의 온도나 풍속에 수직적인 변화가 있으면 전파방향이 굴곡된다. [그림 20.9]는 기온, 풍속이 수직방향으로 경사를 가지고 있는 경우에 음의 전파모양을 나타낸 것이다. 기온이 역전(상공의 온도가 높은)하는 경우에는 상방을 향해서 방출된 음이 지상방향으로 밀려나기 때문에 추가전파(부의 감쇠)가 일어나 멀리까지 음이 전달



[그림 20.9] 기온차와 풍속차에 따른 음의 굴절

된다. 풍속은 일반적으로 상공으로 올라갈수록 빨라지기 때문에 풍하에서는 추가전파가 일어난다. 도로교통소음에서는 특수한 경우에만 이와 같은 영향을 고려한다.

20.2.3 교통소음의 예측기법

도로교통소음의 특징은 이동하는 소음원(자동차)이 측정점에 접근하였다가 통과하여 다시 멀어져 가는 것이다. 즉 측정점의 소음 레벨은 점점 증가하여 최대가 되었다가 다시 작아지는 과정이 자동차 한 대 한 대에 대하여 반복되는 것이다. 이때 자동차 한 대 한 대의 소음발생 파워는 시간과 위치에 따라 변하는 경우가 있기 때문에 측정점에서는 여러 자동차로부터 나온 소음이 동시에 도달된다. 따라서 측정점 부근의 교통밀도, 파워가 다른 차종구성비에 의하여 소음 레벨은 불규칙하고, 또 큰 폭으로 변한다. 이와 같이 불규칙하고 큰 폭으로 변하는 소음을 하나의 값으로 나타낼 때는 중앙값(median) L_{50} 을 기준으로 사용한다.

도로교통소음의 예측기법에는 경험적 모형, 확률모형, 결정모형 등이 있다.

(1) 경험적 모형

도로의 소음 레벨을 실측하고, 아울러 교통조건, 도로조건 중에서 소음 레벨에 영향을 주는 요인을 찾아내어 소음 레벨과의 상관관계를 통계적으로 분석하여 예측하는 모형이다.

(2) 확률모형

결정모형이 현상을 확정적(deterministic)으로 취급하는 데 비해서, 확률모형은 각 자동차의 음원 파워와 자동차의 차두간격을 확률적으로 취급한다. 즉, 음원 파워와 차두간격이 어떤 파라미터를 갖는 확률분포를 나타낸다고 보는 것이다.

(3) 결정모형

소음 레벨에 영향을 주는 각 요인들이 이론적으로 소음에 어떤 영향을 주는가를 분석하여 관계식을 만들어 사용한다. 이 모형에는 점(點)음원 모형과 선(線)음원 모형이 있으며, 점음원 모형의 대표적인 것에는 다음에 설명하는 일렬등간격 모형이 있다. 선음원 모형은 교통량이 많아 자동차가 끊임 없이 지나가는 경우에 적용하는 모형으로서 도로를 하나의 파워(단위길이당)를 갖는 균일한 음원으로 간주하며 다음과 같은 기본식을 가진다.

$$L = 10 \log N + 20 \log v - 10 \log r + C \quad (20.14)$$

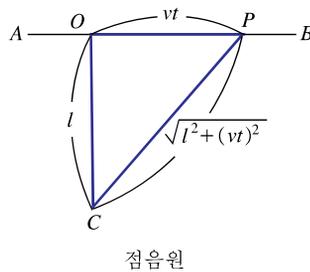
이 책에서는 이 결정모형을 중심으로 설명한다.

1 결정모형의 이론

직선 도로상을 일정한 음향 파워를 가진 자동차 1대가 일정 속도로 주행할 때 도로변에서의 소음 레벨을 예측하는 모형으로서 도로 및 도로 주위의 지형은 평탄하다고 본 것이다.

자동차를 무지향성의 점음원으로 보고 지면을 음향적인 반사체로 가정을 할 때, 도로에서 l [m] 떨어진 측정점에서 음압 레벨은 $L_W - 8 - 20 \log l$ 이다. [그림 20.10]에서 직선 AB 위로 자동차 P 가 v [m/s] 속도로 이동한다고 하면 $OP = vt$ 이므로 $PC = \sqrt{l^2 + (vt)^2}$ 이다. 따라서 C 점에서의 음압 레벨은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_P = L_W - 8 - 20 \log l - 10 \log \left[1 + \left(\frac{vt}{l} \right)^2 \right] \quad (20.15)$$



[그림 20.10] 음원의 모형도

2 교통소음의 예측 및 평가

교통소음은 시간에 따라 불규칙하게 변하는 것이므로 그 평가는 단순한 물리적인 양뿐만 아니라 소음의 크기, 발생횟수, 지속시간, 소음 레벨의 진동폭 등이 조합된 감각·심리적인 양으로서 다음과 같은 여러 가지 평가척도가 사용된다.

(1) 소음 레벨의 중앙값 및 90% 범위

여러 가지 소음규제에 사용되는 값으로서 단위시간당 소음 레벨의 누적빈도분포에서 50%(L_{50}) 및 90%(L_{90})의 값을 말한다. 예를 들어 측정시간의 90%가 L_{90} 값보다 작은 값을 가진다. 이 값을 구하기 위한 예측식은 다음에 설명하는 L_{eq} 에서 함께 언급한다.

(2) 등가소음 레벨

학교, 사무실 등과 같이 소음이 문제가 되는 시간이 24시간보다 짧은 경우는 그 문제가 되는 시간 대 동안의 평균소음레벨을 구하여 평가한다. 이때 사용되는 등가소음 레벨(equivalent sound level) L_{eq} 값은 다음과 같이 구한다.

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L/10} \cdot dt \right) \quad (20.16)$$

여기서 L 은 시간 t 에서의 소음 레벨 dB(A)이다. L_{eq} 는 시간 T 동안 A 특성에 대한 소음에너지의

평균값을 나타내며, 그 예측식은 국립환경연구원에서 사용하는 다음과 같은 여러 가지가 있다. 여기서 나온 값들은 끝단에서 잘 맞는다.

$$\text{소형차: } L_C = 45 + 10 \log\left(\frac{N_C}{r}\right) + 30 \log\left(\frac{v}{50}\right) \quad (20.17)$$

$$\text{대형차: } L_H = 53 + 10 \log\left(\frac{N_H}{r}\right) + 30 \log\left(\frac{v}{50}\right) \quad (20.18)$$

$$\text{합성음: } L_{50} = 10 \log(10^{L_C/10} + 10^{L_H/10}) \quad (20.19)$$

$$L_{eq} = L_{50} \times 1.12 - 5.36 \quad (20.20)$$

여기서 N_C, N_H : 소형차, 대형차의 교통량(vph)

r : 차량으로부터 관측점까지의 거리(m)

v : 주행속도(kph)

(3) 교통소음지수

교통소음지수(Traffic Noise Index; TNI)는 교통소음의 평가척도로서 영국 Building Research Station에서 제안한 것이며, 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$TNI = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \quad (20.21)$$

보통 일정 시간(예컨대 1시간마다) 샘플링하여 그 시간에서의 L_{10}, L_{90} 을 구하고, 이들 각각의 24시간 평균을 구하여 위 식에 대입한다. 이 TNI 값이 74이면 약 50%의 사람이 불쾌감을 호소한다고 알려져 있으며, 이 값을 도시지역의 표준치로 보고 있다.

(4) 주야소음레벨

주거지역이나 병원 등과 같이, 낮은 물론이고 야간의 소음이 더욱 중요한 공해요인이 되는 경우에는 야간의 소음 레벨에 가중치를 두어 평균한 주야소음레벨(Day-Night sound level) L_{DN} 값을 사용한다.

$$L_{DN} = 10 \log \frac{1}{24} [15(10^{L_d/10}) + 9(10^{L_n/10})] \quad (20.22)$$

여기서 L_d : 07:00~22:00까지의 15시간 동안의 L_{eq}

L_n : 22:00~07:00까지 9시간 동안의 L_{eq}

미국의 주택 및 도시개발부(Dept. of Housing and Urban Development)에서는 허용소음도 평가 기준으로서 실외에서의 이 L_{DN} 값을 사용하여 그 기준의 범위는 다음과 같다.

- ① 쾌적($L_{DN} \leq 65$ dB): 소음이 야간의 관심거리일 수는 있지만 실내환경은 쾌적하며, 실외의 경우에는 레크리에이션이나 놀이에 적합하다.
- ② 조금 불쾌($65 \text{ dB} < L_{DN} < 75$ dB): 소음이 심하며, 소음원과 수음점(受音點) 사이에 장벽(barrier)이 필요하기도 하며, 실내소음환경을 쾌적하게 하기 위해서는 건물에 방음장치를 해야 한다.

- ③ 불쾌($L_{DN} \geq 75\text{dB}$): 소음이 매우 심하며, 건물의 방음에 많은 비용이 들고, 실외소음환경은 매우 불쾌하다.

20.2.4 교통소음 저감대책

교통소음대책을 크게 나누면 차량 대책이나 교통규제 대책 등과 같은 발생원에 관한 대책, 방음벽 및 환경시설대 설치 등과 같은 도로구조물에 관한 대책, 집이나 학교 등의 방음공사, 도로변의 완충건축물 설치, 도로변 토지이용의 적정화 등과 같은 도로변 대책 등이 있다.

1 차량 대책

우리나라의 소음·진동규제법(1990. 8. 1. 공포, 1991. 2. 1. 시행)에서는 운행 중인 차량과 신규 제작 및 수입자동차의 소음허용기준을 정하여 규제하고 있다.

자동차 소음 시험방법은 가속주행소음, 배기소음 및 경적소음으로 구분하고 있으며, 소음항목별 시험방법을 요약하면 다음과 같다.

(1) 가속주행소음 시험방법(신규제작 및 수입자동차에만 적용)

시험자동차를 사용하여 변속기어에서 엔진의 최고출력 시 회전속도의 3/4의 회전속도로 주행할 경우의 속도, 또는 50 kph 정도의 속도로 소음측정 구간에 진입하고, 이때 가속페달을 최고로 밟아 주행시키면서 기준선에서 수평방향으로 7.5 m 떨어진 지점에 지상 1.2 m 높이에 측정점을 설치하여 측정한다.

(2) 배기소음 시험방법(신규제작 및 수입자동차)

시험자동차의 변속기어를 중립위치로 놓고 공회전 상태에서 엔진 최고출력 시 회전속도의 60%로 연속하여 10초 동안 무(無)부하 상태로 가동시키는 동안의 최대소음값을 측정한다. 이때 소음측정기의 마이크로폰은 시험자동차배기관 개구부로부터 연직선으로 후방 20 m 떨어지고 지상으로부터 1.2 m 되는 높이에 설치하여 측정한다.

(3) 배기소음 시험방법(운행 중인 자동차)

시험자동차의 변속기어를 중립위치로 놓고 공회전 상태에서 엔진 최고출력 시의 회전속도까지 4초 동안 부하 없이 급가속시켜 그동안의 최대소음값을 측정한다. 이때 소음측정기의 마이크로폰은 시험자동차배기관 개구부·중심선에 45°의 각을 이루는 연장선상 0.5 m 떨어지고 지면과 평행하게 설치하여 측정한다.

(4) 경적소음 시험방법(신규제작 및 수입자동차, 운행 중인 자동차)

시험자동차의 엔진을 정지시킨 상태에서 5초간 경음기를 울리면서 그동안에 경적음의 최댓값을 측정한다. 이때 소음측정기의 마이크로폰은 시험자동차 앞 끝 표면으로부터 전방 2 m 떨어지고 지상으로부터 1.2 m 되는 높이에 설치하여 측정한다.

2 교통규제 대책

도로교통소음의 크기는 속도, 차종구성비, 교통량, 차량의 주행위치와 함께 수음점(受音點)까지의 거리 등에 영향을 받는다.

속도를 10 kph 정도로 줄이면 소음은 약 1 dB(A) 정도로 줄어든다. 교통량이 같다고 하더라도 소음의 파워 레벨이 큰 대형차의 혼입률이 크면 소음은 커진다. 따라서 대형차량을 다른 곳으로 우회시키면 소음을 크게 줄일 수 있다. 대형차량의 통행제한은 다른 소음저감 대책에 비해 상당히 큰 효과를 나타내지만, 도로의 성질상 모든 도로에 적용할 수가 없기 때문에 이를 시행하기 위해서는 우회도로의 유무, 요일, 시간대 등을 충분히 고려하여 통행제한을 해야 한다.

그 밖에 4차로 이상의 도로에서는 대형차를 중앙차로 쪽으로 주행시켜 건물로부터 거리를 떨어지게 함으로써 다소의 소음저감효과를 기대할 수 있다. 또 신호등을 연동화하여 신호등에서의 가속소음을 어느 정도 줄일 수 있다.

3 도로구조 대책

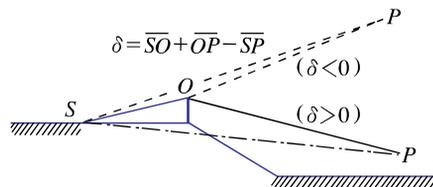
소음발생원에 대한 대책과 병행하여 음의 전파경로에 대한 대책도 효과가 있다. 예를 들어 전파경로 내에 방음벽을 설치하여 음을 회절시키고, 전파경로를 연장함으로써 소음을 감쇠시킬 수 있다. 또한 지표면을 연하게 하여 음을 흡수하게도 한다.

도로의 구조를 성토, 절토, 또는 고가구조로 하여 감쇠효과를 기대할 수도 있으나, 가장 일반적으로 사용되는 방법은 감쇠효과가 큰 방음벽이나 환경시설대 등을 설치하는 것이다.

방음벽은 음원으로부터 수음점까지의 거리가 짧고, 거리에 따른 음의 감쇠를 그다지 기대할 수 없는 경우에 음의 전파경로 내에 벽을 설치하여 음을 차폐하여 소음을 감쇠시키는 시설이다. 방음벽에 의해서 감쇠되는 음의 크기는 음원 S , 벽의 상단 O 및 수음점 P 로 이루어지는 세 점의 기하학적 위치관계에 의해서 결정된다. 즉, [그림 20.11]에서 보는 바와 같은 행로차(δ)에 의해서 구해진다. 일반적으로 회절에 의해서 감쇠되는 값은 이 행로차가 클수록, 주파수가 높을수록(파장이 짧을수록) 커진다.

방음벽에는 반사성 방음벽과 흡음성 방음벽이 있다. 반사성 방음벽은 음을 벽면에 반사시키는 것으로서 반사되어 되돌아가는 쪽에 인가나 소음에 지장을 받는 것이 없어야 한다. 만약 도로 양쪽에 모두 방음벽을 설치해야 할 경우에는 반사성 방음벽보다는 흡음성 방음벽을 설치하는 것이 좋다.

방음벽이 연속적으로 설치되는 구간에서는 운전자가 느끼는 위화감 및 압박감을 완화시키기 위해서 방음벽 안쪽의 조경에 특히 신경을 써야 한다.



[그림 20.11] 방음벽에 의한 음의 감쇠

도로변에 방음용 성토를 한 것은 방음독이라 하며, 경우에 따라서는 여기에 나무를 심거나 방음벽을 설치하기도 한다. 이 방음독의 기능은 방음벽과 마찬가지로이지만, 그 폭이 넓어 거리감쇠효과가 크고 방음뿐만 아니라 배기가스의 확산을 방지하는 데도 유리한 시설이다.

환경시설대는 간선도로의 바깥쪽에 폭이 넓은 부지를 확보하여 그 안에 식수대, 방음벽 등을 설치한 것으로, 필요한 경우에는 보도, 자전거, 측도 등을 배치하여 도로 주위의 생활환경을 보전할 수 있다.

20.3 교통진동

교통진동이란 자동차의 주행하중에 의해서 발생하는 지반의 진동을 말한다. 우리나라에서는 소음·진동규제법에 의해서 교통소음을 일반소음과 함께 규제하고 있으며, 진동배출 허용기준은 [표 20.1]과 같다.

[표 20.1] 진동배출 허용기준(도로 및 철도)

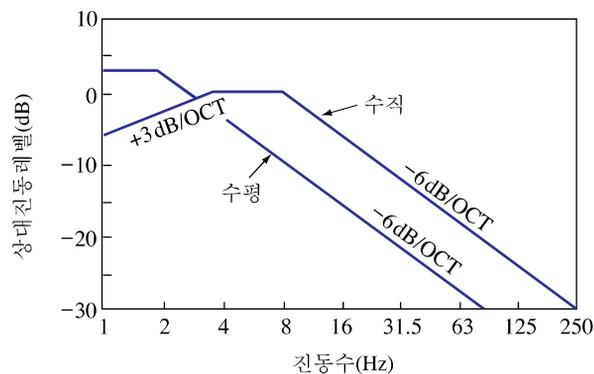
(단위: dB(V))

구분	주간(06:00~22:00)	야간(22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구 및 관광·휴양 개발진흥지구, 자연환경보전지역, 학교·병원·공공도서관의 부지경계선으로부터 50 m 이내 지역	65	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 생산관리지역 및 관리지역 중 산업·유통개발진흥지구, 미고시지역	70	65

주: 1) 관련 시간대: 낮은 8시간, 밤은 3시간으로 한다.

2) 지역별 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역도 도시계획법에 의한다.

교통진동을 측정하는 데는 진동 레벨계를 사용하여 수직방향의 진동 레벨, V_L (dB)을 측정한다. V_L 은 다음 식 (20.23)에서 정의되는 가속도 레벨, V_{AL} 에 [그림 20.12]에서 구한 인체감각보정 필터를 곱하여 구한다.



[그림 20.12] 인체감각보정 필터

$$V_A L = 20 \log \frac{A_e}{A_0} \text{ (dB)} \quad (20.23)$$

여기서 A_e : 가속도의 값

A_0 : 10^{-3} cm/s^2

교통진동의 평가에서 수직방향의 가속도를 이용하는 것은 사람이 수직방향의 진동을 민감하게 감지하기 때문이며, 특히 4~8 Hz의 수직진동에 민감하다는 것을 고려하여 위에서 말한 필터를 사용하여 보정한 값을 평가의 기준으로 삼는다.

측정을 할 때는 5초 간격으로 100회를 측정하여 그 누적빈도분포의 10% 값(L_{10})을 진동 레벨의 대푯값으로 하고 있다. 만약 교통량이 200 vph보다 적고 차량 간격이 20초 이상이 되는 경우에는 차량이 통과한 시점의 전후 5초 이내에서 측정을 하고 나머지 측정값은 제외한다.

20.3.1 교통진동의 발생 및 전파

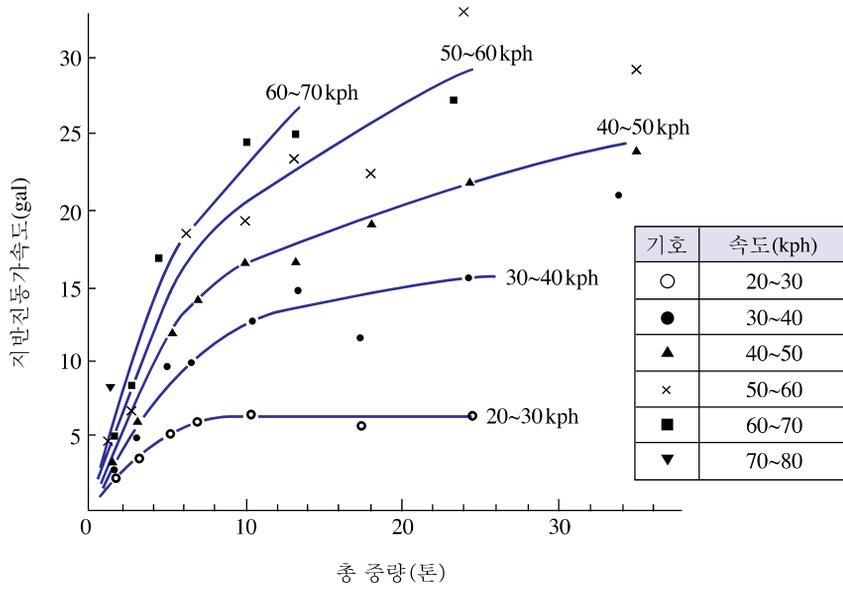
교통진동은 노면이 고르지 못하거나 요철이 있음으로 해서 차량의 충격하중이 지반에 작용하여 발생한다고 할 수 있다. 발생한 진동은 감쇠되면서 지반에 전파되고 건물 또는 그 내부의 사람에게 까지 전달된다. 따라서 교통진동의 특성은 (i) 도로 끝단에서의 진동 레벨, (ii) 도로 끝단에서 떨어진 지점의 진동 레벨로 구분하여 생각할 수 있다.

1 도로 끝단에서의 진동 레벨

노면의 평탄성은 교통진동발생에 큰 영향을 준다. 일반적으로 노면이 평탄성을 나타내는 지표로서 3 m Profile Meter에 의한 도로종단방향의 노면요철의 표준편차 σ 가 이용된다. 일본의 자료에 의하면 σ 가 1 mm 증가함에 따라 진동 레벨은 약 4 dB 증가한다.

차량의 중량이 클수록, 속도가 클수록 도로 끝단의 진동 레벨은 커진다. [그림 20.13]은 한 대의 차량이 주행할 때의 진동 레벨을 실측한 값을 나타낸다. 차량중량이 7톤 이하일 때는 차량중량이 증가함에 따라 지반의 진동가속도(global acceleration rate: gal)가 증가하지만, 7톤 이상에서는 증가경향이 급격히 약해진다.

교통량과 진동 레벨 간에도 밀접한 관계가 있다. 특히 대형차량의 교통량이 진동에 미치는 영향은 더욱 크다.



[그림 20.13] 차량속도 및 중량과 지반진동가속도의 관계

2 도로 끝단에서 떨어진 지점의 진동

교통진동은 주로 Rayleigh파에 의해 이루어지고 있으며, 이 파는 지반표면으로 전달되는 파로서 전파에 의한 감쇠가 비교적 작은 것이 특징이다. 전파거리가 멀어지면 일반적으로 확산과 매체 내부적인 효과로 인해 감쇠되며, 이것을 거리감쇠라 부른다. 도로직각방향으로의 진동거리감쇠는 여러 가지 실험 결과 다음과 같이 알려지고 있다.

- ① 도로 끝단에서의 진동 레벨이 높을수록 거리감쇠가 크다.
- ② 사질지반이 점토지반에 비해 거리감쇠가 크다.
- ③ 진동수가 클수록 거리감쇠가 크다.

20.3.2 교통진동의 예측

평면도로의 외측차로 중앙으로부터 5 m 지점의 L_{10} 을 예측하는 방법으로서 다음과 같은 식을 사용한다.

$$L_{10} = 65 \log(\log Q^*) + 0.2v + 4 \log M + \alpha_\sigma + \alpha_f + 15 - \alpha_l \quad (20.24)$$

여기서 Q^* : 등가교통량(대/500초/차로) $Q^* = \frac{500}{3,600}(Q_1 + 12Q_2)/M$

Q_1 : 소형차량대수(vph)

Q_2 : 대형차량대수(vph)

M : 양방향차로수

v : 평균주행속도(kph)

$$\alpha_\sigma: \text{노면 평탄성에 대한 보정치(dB)} \quad \alpha_\sigma = 4(\sigma - 2.2)$$

σ : 노면 평탄 표준편차(mm)

α_f : 지반조건에 따른 보정치(dB)

$$\alpha_f = \begin{cases} -6.6\log(4/f) + 3.6 & (f \leq 4) \\ 3.6 & (4 \leq f < 8) \\ -13.3\log(f/8) + 3.6 & (8 \leq f) \end{cases}$$

f : 지반전파 진동수(Hz)

α_l : 거리감쇠 보정치(dB)

평면도로의 외측차로 중앙으로부터 5~40 m 떨어진 곳에서의 진동감쇠값은 [표 20.2]에서 보는 바와 같다.

[표 20.2] 도로교통 진동의 거리감쇠 예측표

(단위: dB)

지반 종류 \ 기준점의 L_{10} (dB)	0~45	45~55	55~65
점토	1.3	2.0	3.1
모래	2.5		5.8

성토도로의 법면 바닥에서의 L_{10} 은 앞에서 구한 값에 다음의 식에서 얻은 값을 더한다.

$$\sigma_e = -0.05A \quad (20.25)$$

여기서 A 는 성토의 단면적(m^2)이다. 성토도로의 거리감쇠는 평면도로와 마찬가지로 [표 20.2]의 값을 사용한다.

고가도로에서의 진동예측은 다음 식을 사용하여 구한다.

$$L_{10} = 10 \log(10^{L_1/10} + L^{L_2/10}) \quad (20.26)$$

여기서 L_{10} : 기준점에서의 L_{10} 예측값(dB)이며, 기준점의 위치는 평면도로가 있는 경우는 평면도로의 외측차로 중앙으로부터 5 m 지점이고, 고가도로만 있는 경우는 측정하는 쪽의 교각 중앙으로부터 5 m 지점이다.

L_1 : L_{10} 중에서 평면도로에 의한 부분

$$L_1 = \begin{cases} 0 & (\text{평면도로가 없을 때}) \\ 65 \log(\log Q^*) + 0.2v + 4 \log M + \alpha_\sigma + \alpha_f + 13 & (\text{평면도로가 있을 때}) \end{cases}$$

L_2 : L_{10} 중에서 고가도로에 의한 부분

$$L_2 = \begin{cases} 60 \log(10 \log Q') + 0.2v' + 0.5H_p + 4 \log M' + \alpha_f + 7 & (\text{평면도로가 없을 때}) \\ 60 \log(10 \log Q') + 0.2v' + 0.5H_p + 4 \log M' + \alpha_f + 6 & (\text{평면도로가 있을 때}) \end{cases}$$

Q' : 고가도로의 3차종 분류 등가교통량(대/500초/차로)

$$Q' = \frac{500}{3,600}(Q_0 + 2Q_1 + 12Q_2)/M'$$

Q_0, Q_1, Q_2 : 승용차, 소형화물차, 대형화물차의 교통량(vph)

M' : 고가도로의 양방향차로수

v' : 고가도로에서의 평균주행속도(kph)

H_p' : 고가도로 신축 조인트 앞뒤 5 m(합계 10 m) 구간 내의 최대 요철량(mm)의 차이. 나머지 변수는 식 (20.24)에서 정의한 것과 같다.

20.3.3 교통진동 대책

교통진동을 경감시키는 대책으로는 노면을 평탄하게 하고, 포장구조를 개선하며, 성토, 지반개량, 교통규제를 실시하고 환경시설대, 방진벽, 방진구 등을 설치하는 것이다.

노면을 평탄하게 개량하면 교통진동을 줄이는 데 큰 효과가 있다. 노면요철의 표준편차가 1 mm 줄어들면 진동 레벨은 약 4 dB 정도 감소한다. 성토도로에서는 평면도로에 비해 진동이 적다. 그 원인은 일반적으로 균계 다져진 성토 본체의 강성은 자연지반의 강성보다 높은 경우가 많아 진동발생이 적고, 성토도로에서는 차로로부터 도로 끝단(성토법면 하단)까지의 거리가 평면도로에 비해 길어 거리감쇠량이 커지기 때문이다. 또 지반개량공법은 연약지반의 진동을 경감시키는 데 효과가 있다.

교통규제에 의한 진동경감 대책으로는 속도제한, 차로제한, 중량제한 등이 있다. 속도와 중량을 줄이면 진동이 줄어든다는 것은 쉽게 알 수가 있다. 차로제한은 진동을 유발하는 차량을 도로 바깥 차로보다 안쪽 차로를 이용하게 하는 것으로서, 차로를 내측으로 하나씩 옮겨감에 따라 도로 끝단에서 측정된 진동 레벨은 60 dB 이하에서는 2~3.5 dB, 60 dB 이상에서는 6.5~7 dB 정도 감소한다고 알려지고 있다.

환경시설대에 의한 진동경감 효과는 거리감쇠 때문이다. 예를 들어 도로 끝단 언저리에 폭 20 m의 환경시설대가 설치되어 있고, 도로 끝단이 바깥 차로 중앙으로부터 5 m 지점에 있다고 가정하면, 환경시설대로 인한 진동경감 효과는 사질지반의 경우 L_{10} 값이 도로 끝단에 비해 5.0~11.6 dB 정도 감소하고, 점토지반에서는 2.6~6.2 dB 감소하며, 환경시설대에 성토가 되어 있으면 진동은 더욱 감소한다.

공동구에 의한 진동감소 대책은 옛날부터 많이 사용되고 있는 방법이다. 구의 깊이가 파장의 1/4 일 때 진동기속도는 약 50% 감소하고, 파장의 1/2일 때는 35%, 파장과 같을 때는 20% 정도 감소된다고 알려져 있다.

● 참고문헌 ●

1. U.S. Environmental Protection Agency, *Mobile Source Emission Factors*, Final Document, EPA 400/9-78-006, 1978.
2. Secretary of HEW to U.S. Congress pursuant to P. L. 88-206 Clean Air Act, Second Report, 1965.
3. A. D. May and T. J. Clausen, *The Analysis and Evaluation of Selected Impacts of Traffic Management Strategies on Surface Streets*, ITS., University of California, Berkeley, 1976.
4. E. B. Lieberman and S. Cohen, “New Technique for Evaluating Urban Traffic Energy Consumption and Emissions”, *TRR. 599*, TRB., 1976.
5. 도철웅, *An Evaluation of Traffic Flow Performance Measures in A Linear Arterial Network*, Ph. D. dissertation, University of Wisconsin, 1978.
6. 환경처, 환경보전, 1988.
7. 환경처, 환경영향평가서 작성지침서, 1988. 11.
8. U.S. Environmental Protection Agency, *Impact Characterization of Noise Including Implications of Identifying and Achieving Levels of Cumulative Noise Exposure*, NTID. 73.4, 1973. 7.
9. U.S. EPA, *Information on Levels of Environmental Noise Requisite to protect public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety*, 1974. 3.