

교통량과 교통하중을 고려한 교량건설비용의 할당

이동주[†] · 황인극

공주대학교 산업시스템공학과

An Approach for Bridge Construction Cost Allocation Considering Traffic Load and Traffic Capacity

Dong-Ju Lee · In-keuk Hwang

Department of Industrial Systems Engineering, Kongju National University, Chungnam, 340-802

The objective of bridge construction cost allocation is to distribute in a fair and rational manner the bridge construction costs among those vehicles using the bridge. In most bridge construction cost allocation studies, bridge construction costs are mainly distributed according to traffic load(gross vehicle weight), without any consideration of bridge capacity requirements(the number of lanes). In this paper, a bridge cost allocation method for considering both traffic capacity and traffic loads is developed. The proposed method is based on cooperative game theory, particularly two concepts known as the Aumann-Shapley (A-S) value and Shapley value. This method can help to analyze the impact of traffic capacity costs. By applying the proposed method to an example, traffic capacity cost is found to be high so that traffic capacity should be considered to allocate the bridge construction costs to vehicle classes in a more equitable manner.

Keywords: game theory, cost allocation, Shapley value, Aumann-Shapley value

1. 서론

비용배분문제란 각 경제 주체들에게 상이한 편익을 제공하는 결합생산물(joint product)이나 서비스의 공동비용을 각 경제 주체들에게 공평하고 합리적으로 배분하는 방법에 관한 연구이다. 이러한 비용배분문제는 여러 분야에서 발생해 왔는데, 특히 고속도로, 공항활주로, 다목적댐과 같은 공동시설의 비용 배분 등에 대해 협조적 게임이론(cooperative game theory)을 응용한 많은 연구가 행해져 왔다. 이러한 연구들이 결합생산물들을 만들거나 유지하는 데 드는 비용을 그것을 이용하는 경제 주체들에게 공평하게 부담하게끔 하는 기준을 제공하고 있다.

협조적 게임이론은 게임 참가자(player)의 집합과 그 게임 참가자들의 부분집합인 연합(coalition)의 효용가능집합으로 구성

되며, 각각의 연합의 실현 가능한 효용가능집합이 주어졌을 때 공평한 타협(비용배분)이 어떤 것인가를 연구대상으로 하고 있다. 이러한 협조적 게임이론에 대한 해로서, 샤플리 값(Shapley, 1953), 오만-샤플리 값(Aumann, 1974), 중핵(Young, 1985) 등이 널리 쓰이고 있지만 비용배분문제에 있어서 어떠한 기법도 완벽하다고 할 수는 없다.

이상원(1997)은 공항이착륙시설의 비용배분을 샤플리 값(Shapley value), 중핵(nucleolus) 등의 기법을 통해 분석해 보았다. Lee(2002)는 도로 관련 시설의 비용배분을 샤플리 값(Shapley value)과 오만-샤플리 값(Aumann-Shapley value)을 이용하여 교통량(Traffic loading, 도로 두께와 관련)과 교통하중(Traffic volume, 차선 수와 관련)을 동시에 고려한 새로운 기법을 제시하였다. 도로 관련 시설의 비용배분에 관한 기존의 연구에서는 차선수

[†]연락처 : 이동주 교수, 340-802 충남 예산군 대회리 1번지 공주대학교 산업시스템공학과, Fax : 041-330-1509,

E-mail : djlee@kongju.ac.kr

2003년 8월 20일 접수, 1회 수정 후 2004년 2월 23일 게재 확정.

는 항상 일정하고, 교통하중만이 도로 관련 비용을 결정한다고 가정하고 비용분배를 해 왔다. 사실 승용차는 교통하중이 작으므로 얇은 두께의 도로로도 충분하지만 대신 많은 수의 승용차가 도로를 이용하므로 많은 차선수를 필요로 하고, 트레일러 트럭의 경우에는 이와 반대로 두꺼운 두께의 도로가 필요하고 대신 이용하는 차량이 많지 않기에 적은 수의 차선으로도 충분하다. 그러므로 교통량과 교통하중을 동시에 고려한 방법이 도로 관련 시설 비용할당에 더욱 적합하다고 하겠다.

이와 마찬가지로 교량(bridge)에 관련된 비용을 배분하는 기존의 기법들은 각 차량의 교통하중에만 근거하여 할당해 왔다. 일반적으로 교량건설비를 배분하는 데에는 증분기법(incremental method)이 알맞다고 알려져 있는데, 증분기법도 교통하중에만 근거하여 비용을 할당한다. 본 논문에서는 교통하중과 교통량을 동시에 고려한 새로운 접근법을 필요로 한다는 데 착안하고, Lee(2002)가 제시한 방법을 이용하여 새로운 기법을 제시해 보았다. 그렇지만, 도로 비용배분문제의 특성은 교량 건설 비용배분문제의 특성과 다르므로, 그가 제시한 방법을 그대로 이용하여서는 합리적인 비용배분을 할 수가 없다.

본 논문에서는 Lee가 제시한 방법과 교량의 하중 관련 비용의 할당에 적합하다고 알려진 증분기법을 혼용하여 교량에 있어서 교통량과 차량하중을 동시에 고려한 기법을 제시하고, 예제를 통해 교통량과 교통하중이 비용배분에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 증분기법은 가벼운 차량 때문에 발생하는 교량의 건설비용은 가벼운 차량들에게 골고루 분배하고 조금씩 추가되는 차량의 무게 때문에 발생하는 교량의 추가비용은 추가되는 무거운 차량들에게 골고루 분배하는 것이다. 증분기법은 3.2.3에서 자세히 설명하겠다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 문제의 정의에 대해 간략히 알아보았다. 3장에서는 비용함수를 소개하고, 교량 비용배분을 위해 새로운 방법을 제시하고, 예를 통해 제시된 방법을 알아보았다. 4장에서는 실제와 근사한 예를 통해 본 논문에서 제시된 방법, 증분기법, 샤플리 값을 서로 비교하여 보았다. 또한, 교통량 비용과 교통하중비용을 분석하여 보았다. 마지막으로 5장에서는 결론에 대해 논의해 보았다.

2. 문제의 정의

본 연구의 목적은 교통하중과 교통량을 동시에 고려해서 교량건설비용을 합리적으로 할당하는 것이다. 따라서, 먼저 교

통 관련 비용은 교통하중과 관련된 비용과 교통량에 관련된 비용으로 분할되어야 한다. 이것을 **교통비용분할**이라고 하자. 또한, 교통량(차선 수)에 대한 비용은 각 차종이 필요로 하는 차선 수에 따라 할당되어야 하므로, 각 차종이 요구하는 차선 수를 먼저 결정하여야 한다. 이것을 **차선수할당**이라고 하자.

교통비용분할을 위한 게임에는 단위무게(kip)와 단위차선(lane)의 두 종류의 게임 참여자가 있다: 게임 참여자의 집합은 $M = K \cup L$ 인데, 여기서 $K = \{1, 2, \dots, q_1\}$ 는 단위무게의 집합이고, $L = \{1, 2, \dots, q_2\}$ 은 차선수의 집합이다. 또한, $P(M)$ 을 M 의 모든 원소들로 구성될 수 있는 연합들의 집합이라고 하자. 연합(coalition)이란 전체 집합의 모든 가능한 부분집합이다.

차선수할당을 위한 게임에는 차종(vehicle classes), $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 이 게임 참여자이다. 이 게임의 특성함수(characteristic function)로는 $F: P(N) \rightarrow Z^+$, 여기서 Z^+ 는 자연수이다. 각 차종들의 연합에 대한 차선 수를 계산하기 위해서 Highway Capacity Manual (TRB, 1997)을 이용하였다. 마지막으로, $C: P(N) \rightarrow R^+$ 는 비용함수인데, 여기서 R^+ 는 양의 실수이다.

3. 비용함수와 접근법

3.1 비용함수

각 차종들에 대한 연합들의 효율, 즉 차종들의 연합을 위한 가상적인 교량의 건설비용을 구하기 위해서는 비용함수가 필요하다. 이 장에서는 미국 텍사스 주의 예를 들어 실제로 비용함수를 구하는 것을 보여주고자 한다. <표 1>에서는 각각의 하중에 견디는 다리의 건설비용을 실제로 건설되는 교량인 HS20 (72kips)을 100%라고 했을 때 상대적인 비용의 퍼센트로 나타내었다. <표 1>은 Luskin(2001)의 보고서에서 참조해 왔는데, HS20 Bridge를 건설하는 비용을 구하면 <표 1>을 이용하여 각각의 교통하중을 위한 가상적인 교량들의 건설비용을 구할 수 있는데, 이를 토대로 다음과 같은 비용함수를 유도할 수도 있다.

$$C(k, l) = l(a + b k) \tag{1}$$

여기서 C 는 한 lane-mile당 건설비용, k 는 차량무게(단위: kips)이고, l 은 차선수이고, a 와 b 는 회귀분석으로 구해질 수 있는 파라미터이다.

차량의 통행이 거의 없더라도 최소한 한 방향에 하나의 차

표 1. HS20 bridge를 기준으로 할 때 교량의 건설비용 퍼센트

Gross Vehicle Weight(kips)	5	10	20	30	40	54	72	90	108
종류	H2.5	H5	H10	H15	H20	HS15	HS20	HS25	HS30
비용(%)	80.78	82.61	86.52	90.43	95.80	94.59	100	105	110

선과 기본적인 비용이 든다고 가정하자. 이 비용을 **기본비용**이라고 정의하고, 이 기본비용은 교통하중과 관련이 없으므로 ADT(Average Daily Traffic)에 비례하여 할당한다. ADT란 각 차종들이 그 교량을 다니는 하루 평균 횟수이다. 식 (1)에서 이러한 기본비용은 a 이다.

도로의 건설비용, 즉 도로의 두께는 차량이 그 도로를 실제로 다니는 횟수와 차량의 무게에 의해 결정되지만, 교량에 대해서는 다니는 횟수에 관계없이 그 교량을 이용하는 차량 중 가장 무거운 차량의 무게만이 교량건설비용을 결정하는 데 중요한 요소이다. 예를 들면, 10kips의 차량이 10번, 50kips의 차량이 10번 다니는 예상 교통량을 가진 도로의 건설비용이 10kips의 차량이 10번, 50kips의 차량이 1번 다니는 도로의 건설비용보다 더 든다. 그렇지만, 교량은 차량이 다니는 횟수에 관계없이 50kips의 차량이 그 교량에 다니는 차량의 최대 무게이므로 그 이하(50kips 포함)의 무게인 차량이 다니는 횟수에 관계없이 위 두 가지의 경우 교량건설비용은 동일하다.

3.2 접근법

여기서 논의할 교량건설비용을 할당하는 방법에는 오만-샤플리 값과 샤플리 값이 쓰였는데, 이 두 값들은 게임 참여자(Player)들이 만들 수 있는 모든 가능한 배열에 따른 한계비용(marginal costs)의 합의 산술적 평균(arithmetic average)에 근간을 두고 있다. 또한, 다음과 같은 바람직한 특성을 가졌다. 첫째, 발생하는 비용은 그 시설을 이용하는 차종들에 의해 모자라거나 남지도 않고 완전히 배분된다. 둘째, 어떤 차종이 차종들로 구성된 부분집합(coalition)에 추가될 때 비용이 증가하지 않는다(즉, 한계비용이 0이라면) 그 차종에 배분되는 비용도 없다. 셋째, 만약 비용함수가 두 개의 다른 독립적인 비용함수들에 의한 비용요소들로 나누어 질 수 있다면 배분된 비용도 그 두 개의 비용함수들에 의한 비용요소들로 나누어 질 수 있다.

여기서 제시하는 방법은 3단계로 구성되어 있는데, 먼저 오만-샤플리 값을 이용하여 교통비용을 교통량 관련 비용과 교통하중 관련 비용으로 나눈다. 다음으로는 샤플리 값을 이용하여 모든 차량이 도로를 이용할 때 필요한 차선수를 각 차종에게 할당하고, 그 할당된 차선수에 비례하여 교통량 관련 비용을 각 차종에게 할당한다. 마지막으로 증분기법을 이용하여 교통하중 관련 비용을 할당한다. 자세한 내용은 아래와 같고, 3.3에서 예제를 통해 이해를 돕도록 하겠다.

3.2.1 오만-샤플리 값(Aumann-Shapley Value)에 의한 교통비용분할

Moulin(1995)과 Redekop(2000)은 이산형 오만-샤플리 값을 제안하였는데, 이 오만-샤플리 값을 이용해 차량의 단위무게당 비용과 차선수당 비용을 구하면 다음과 같다.

$$C_k = \frac{(q_1 - 1)!q_2!}{(q_1 + q_2)!} \sum_{t_2=0}^{q_1} \sum_{t_1=1}^{q_2} \left[\frac{(t_1 + t_2 - 1)!}{(t_1 - 1)!t_2!} \frac{(q_1 - t_1 + q_2 - t_2)!}{(q_1 - t_1)!(q_2 - t_2)!} \right]$$

$$\times \{C(t_1, t_2) - C(t_1 - 1, t_2)\} \tag{2}$$

$$C_l = \frac{q_1!(q_2 - 1)!}{(q_1 + q_2)!} \sum_{t_1=0}^{q_1} \sum_{t_2=1}^{q_2} \left[\frac{(t_1 + t_2 - 1)!}{t_1!(t_2 - 1)!} \frac{(q_1 - t_1 + q_2 - t_2)!}{(q_1 - t_1)!(q_2 - t_2)!} \right] \times \{C(t_1, t_2) - C(t_1, t_2 - 1)\} \tag{3}$$

여기서, C_k 는 단위무게당 비용이고, C_l 은 단위차선당 비용이고, q_1 은 차량의 최대 무게이며, q_2 는 차선수이고, 마지막으로 C 는 비용함수이다.

3.2.2 샤플리 값에 의한 차선수 할당

샤플리 값을 이용해 각 차종에 대한 차선 수를 할당해 보는 식은 다음과 같다.

$$L_i = \sum_{s=1}^n \frac{(s-1)!(n-s)!}{n!} \sum_{\substack{S \subseteq N: i \in S \\ |S|=s}} \{F(S) - F(S-i)\} \tag{4}$$

여기서, L_i 는 차종 i 에 할당된 차선수이고, S 는 차종들의 연합이고, s 는 연합 S 에 있는 차종의 수이고, 마지막으로 $F(S)$ 는 연합 S 가 필요로 하는 차선수이다. 여기서 함수 F 는 Highway Capacity Manual에 의해 차선수를 계산한다.

3.2.3 증분기법에 의한 교통하중비용 배분

3.2.1에서 구한 단위무게당 비용(C_k)을 이용하여 증분기법으로 교통 하중비용을 배분하는 방법을 고찰해 보자.

- (1) 먼저 가장 가벼운 차량이 다닐 수 있는 교량건설비용을 C_k 를 이용해서 구하고, 그 비용을 모든 차량의 ADT(Average Daily Traffic)에 비례하여 각 차종들에게 할당한다.
- (2) 그 다음으로 가벼운 차량이 다닐 수 있는 교량건설을 위한 추가비용(marginal costs)을 계산하여, 가장 가벼운 차량을 제외한 나머지 차량들의 ADT에 비례하여 차종들에게 할당한다.
- (3) 과정 (2)를 가장 무거운 차량이 다닐 수 있는 교량건설비용까지 반복한다.

3.3 교량건설비용 배분의 예

가상적인 예제를 통해 소개된 기법을 보여주고자 한다. 이 예제에서는 교량이 승용차(A), 트럭(P), 트레일러 트럭(T)의 3종의 차량을 위해서 건설된다고 가정하고 비용함수는 다음과 같다.

$$C(k, l) = l(2 + 3k) \tag{5}$$

<표 2>에서는 각 무게 구간에 따른 ADT의 퍼센트를 차종별로 보여주고, 또한 <표 3>은 차종들의 연합이 필요로 하는 추가 차선수를 보여주고 있다.

표 2. 각 차종과 무게구간에 따른 ADT의 퍼센트

	0-10 kips	11-20 kips	21-30 kips
승용차(A)	65	0	0
트럭(P)	20	5	0
트레일러 트럭(T)	0	5	5

표 3. 각 차종들의 연합에 대한 추가 차선수

연합	{A}	{P}	{T}	{A,P}	{A,T}	{P,T}	{A,P,T}
추가 차선수	1	1	0	2	2	1	2

단계 1. 교통비용분할: 오만-샤플리 값을 이용하여 단위무게당(C_k) 비용과 단위차선당 비용(C_l)을 구할 때, 식 (2)와 (3)을 이용해서 구할 수도 있겠지만, 여기서는 오만-샤플리 값의 정의를 이용해서 구해 보기로 한다. 10kips를 한 단위무게라고 정의하면, 3개의 단위무게(30kips)가 존재하고, 2개의 추가 차선수가 존재하므로, 모든 가능한 배열의 수는 <표 4>와 같이 $5!(3!2!) = 10$ 개이다. <표 4>에는 각 가능한 배열의 단위무게 혹은 추가차선의 포함 순서와 그에 따른 추가비용이 계산되어 있다. K는 한 단위무게를 의미하고, L은 한 추가 차선수를 의미하고, 각 배열의 처음에 있는 진하게 표시된 부분은 기본비용을 계산하기 위한 하나의 기본 차선수를 의미한다. 단위무게에 대한 추가비용의 합과 추가차선에 대한 추가비용의 합을 각각 구한 후 산술평균을 계산하면 단위무게당(C_k) 비용과 단위차선당 비용(C_l)을 구할 수 있다.

즉, <표 4>에서 총30개의 단위무게 K에 대한 추가비용의 합은 180이고, 20개의 추가차선 L에 대한 추가비용의 합은 130이다. 그러므로, 단위무게당(C_k) 비용과 단위차선당 비용(C_l)은 다음과 같다.

$$C_k = \frac{180}{30} = 6, \quad C_l = \frac{130}{20} = 6.5$$

표 4. 모든 가능한 배열과 그에 따른 추가비용

배열	포함 순서						추가비용					
	L	K	K	K	L	L	2	3	3	3	11	11
1	L	K	K	K	L	L	2	3	3	3	11	11
2	L	K	K	L	K	L	2	3	3	8	6	11
3	L	K	K	L	L	K	2	3	3	8	8	9
4	L	K	L	K	K	L	2	3	5	6	6	11
5	L	K	L	K	L	K	2	3	5	6	8	9
6	L	K	L	L	K	K	2	3	5	5	9	9
7	L	L	K	K	K	L	2	2	6	6	6	11
8	L	L	K	K	L	K	2	2	6	6	8	9
9	L	L	K	L	K	K	2	2	6	5	9	9
10	L	L	L	K	K	K	2	2	2	9	9	9

단계 2. 추가 차선수 할당: 샤플리 값을 구하는 공식, 식 (4)를 이용하여 추가 차선수를 할당할 수 있겠지만, 여기서는 샤플리 값의 정의를 이용하기로 한다. <표 5>에 각 차종을 하나씩 포함해 나갈 때의 포함 순서와 그에 따라 추가된 추가 차선수가 주어져 있다.

표 5. 모든 가능한 배열과 추가된 추가 차선수

배열	포함 순서			추가된 추가 차선수		
	A	P	T	1	1	0
1	A	P	T	1	1	0
2	A	T	P	1	1	0
3	P	A	T	1	1	0
4	P	T	A	1	0	1
5	T	A	P	0	2	0
6	T	P	A	0	1	1

단계 1에서 보았던 것과 똑 같은 방법으로 각 차종들에 추가 차선수를 할당해 보면 다음과 같다.

$$L_A = \frac{1}{6}(1+1+1+1+2+1) = 1.17,$$

$$L_P = \frac{1}{6}(1+0+1+1+0+1) = 0.67,$$

$$L_T = \frac{1}{6}(0+1+0+0+0+0) = 0.16$$

단계 3. 교통하중비용 배분:

$$\text{승용차: } 6 \times \frac{65}{65 + 20 + 5 + 5 + 5} = 3.9$$

$$\text{트럭: } 6 \times \frac{20 + 5}{65 + 20 + 5 + 5 + 5} + 6 \times \frac{5}{5 + 5 + 5} = 3.5$$

$$\text{트레일러 트럭: } 6 \times \frac{5 + 5}{65 + 20 + 5 + 5 + 5} + 6 \times \frac{5 + 5}{5 + 5 + 5} + 6 \times \frac{5}{5} = 10.6$$

기본비용인 상수 a 에 대한 비용은 2이다. 이 비용은 ADT에 비례하여 할당되었다. 제시된 방법에 의한 최종적인 비용은 <표 6>에 주어져 있다.

4. 교량비용 배분게임의 적용

이 장에서는 사실과 비슷한 예를 통해 본 논문에서 제시한 방법, 증분기법, 샤플리 값에 의한 결과를 서로 비교해 보려고 한다. 승용차, 버스, 4종류의 트럭, 6종류의 트레일러 트럭 등 총 12개의 차종이 고려되었다: 승용차 (Auto), 픽업트럭(Pickup), 2차축 트럭 (Other 2Ax SU), 3차축 트럭(3 Ax SU), 4차축 이상의 트럭(4 Ax+ SU), 4차축 이하의 트레일러(4 Ax STT), 5차축 트레일러 (5 Ax STT), 6차축 이상의 트레일러(6 Ax+ STT), 5차축 이하의 다중 트레일러 (5 Ax MTT), 6차축 다중 트레일러(6 Ax MTT), 7차축 이상의 다중 트레일러 (7 Ax+ MTT), 버스(Bus).

각 차종의 ADT가 차종과 무게(kips)별로 <표 7>에 주어져 있다. <표 7>은 Luskin(2001)의 보고서에 나와 있는 차량의 무게별 분포와 ADT를 합쳐서 만든 것이다. Luskin(2001)의 보고서에 따르면 미국 텍사스 동부에서 건설되는 다리의 평균 건설비용은 한 lane-mile당 약\$2,900,000이 드는데, <표 1>을 이

용하여 다음과 같은 비용함수를 구할 수 있다.

$$C(k,l) = l (2400000 + 7926.2 k)$$

여기서 k 는 차량의 무게(kips)이고, l 은 차선수, 그리고 $C(k,l)$ 은 비용함수이다. Highway Capacity Manual(TRB, 1997)을 이용해서 구한 모든 차종이 이 교량을 이용할 때 필요한 총 차선은 3개이다. 교량건설비용은 다음과 같다.

$$Y = 3(2,400,000 + 7926.2 \times 110) = 9,815,646 \$ \text{ per mile}$$

차종들의 각 연합에 대한 교량건설비용도 비용함수를 통해 똑같은 방법으로 구할 수 있다. 결과를 비교하기 위해, 본 논문이 제시한 방법, 증분기법(Incremental method), 그리고 샤플리 값(Shapley Value)을 적용하였다. 각 차종의 최대 무게만 이용하여 샤플리 값을 계산하였다. 지적하였듯이, 증분기법과 샤플리 값은 각 차종의 연합이 항상 일정한 차선수, 즉 모든 차종이 이용할 때 필요한 차선을 가진다고 가정하였고, 본 논문이 제시한 방법은 차선수도 변수로 고려되어 차종의 각 연합에 대한 차선수가 Highway Capacity Manual을 이용해서 계산되었다. 비용할당의 결과가 <표 8>에 주어져 있다. 표에서 보는 바와 같이 샤플리 값은 대체적으로 모든 차종에 골고루 비용을

표 6. 각 차종에 할당된 비용

	교통하중비용	교통량비용	기본비용	할당된 비용
승용차	3.9	1.17×6.5	2×0.65	12.81
트럭	3.5	0.67×6.5	2×0.25	8.35
트레일러 트럭	10.6	0.16×6.5	2×0.10	11.84

표 7. 각 차종과 무게별 ADT

차종 \ 무게(kip)	무게(kip)										
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110
Auto	24686	117	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pick up & panel	6334	148	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Other 2Ax SU	483	485	40	4	0	0	0	0	0	0	0
3 Ax SU	0	114	71	39	18	8	4	2	0	0	0
4 Ax+ SU	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
4 Ax- STT	18	43	39	23	8	2	0	0	0	0	0
5 Ax STT	0	57	258	344	227	212	349	534	8	2	1
6 Ax+ STT	0	2	7	10	6	5	6	11	1	1	1
5 Ax- MTT	0	6	16	16	25	33	29	19	0	0	0
6 Ax MTT	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
7 Ax+ MTT	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Bus	0	21	36	34	5	1	0	0	0	0	0
합 계	31521	993	468	471	292	263	390	567	9	3	3

표 8. 여러 방법에 의한 비용할당 결과 (퍼센트)

차종	방법	제시된 방법			중분기법	사플리 값	
		교통하중	교통량	기본			합
Auto		1.200	23.962	17.337	42.499	53.811	6.516
Pick up & panel		0.368	23.962	4.531	28.861	14.145	6.516
Other 2Ax SU		0.326	0.057	0.707	1.090	2.611	7.001
3 Ax SU		0.349	0.057	0.179	0.586	1.061	8.289
4 Ax+ SU		0.025	0.000	0.004	0.029	0.051	8.289
4 Ax- STT		0.147	0.057	0.093	0.297	0.499	7.539
5 Ax STT		12.029	9.516	1.392	22.937	22.221	10.712
6 Ax+ STT		1.627	0.057	0.035	1.720	2.546	10.712
5 Ax- MTT		0.613	0.057	0.101	0.771	1.222	8.289
6 Ax MTT		0.013	0.000	0.002	0.015	0.026	7.885
7 Ax+ MTT		0.927	0.000	0.001	0.928	1.395	10.712
Bus		0.140	0.057	0.068	0.265	0.413	7.539
합		17.765	57.784	24.451	100.000	100.000	100.000

할당하였다. 제안된 방법과 중분기법은 공통적으로 빈번히 교통량을 이용하는, 즉 ADT가 많은 승용차와 픽업 트럭에 많은 비용을 할당하였다. 또한, 5차축 트레일러 트럭(5 Ax STT)은 2차축 트럭(Other 2Ax SU)과 ADT가 별 차이가 없는데도 불구하고 할당된 비용은 많은 차이가 있는데, 이는 5차축 트레일러 트럭이 훨씬 무겁기 때문인 듯하다.

제안된 방법을 통하여 교통하중과 교통량에 대한 비용을 각각 구하면, 약 18%가 교통하중 관련 비용이고, 약 58%가 교통량 관련 비용이다. 이 예제를 통해 보면 교통량이 교량건설에 교통하중이나 기본비용보다 더 많은 영향을 미친다고 할 수가 있겠다.

5. 결론

교량건설비용 배분게임의 목적은 교량관련비용을 공평하고 합리적으로 그 교량을 이용하는 차종들에게 할당하는 것이다. 많은 기법들이 소개되어 왔지만, 어느 기법도 완벽하다고 할 수는 없지만, 일반적으로 중분기법이 교량비용 배분게임에 적합하다고 알려져 왔다.

하지만, 중분기법을 포함한 기존의 방법은 교통하중에만 초점을 맞추어 교량건설비용을 차종들에게 할당해 왔는데, 사실 교통량도 비용할당에 중요한 요소이기에 본 논문에서는 이를 고려한 새로운 기법을 제시하였다. 실제와 유사한 예제문제에 제시된 방법을 적용해 본 결과 18% 정도가 교통하중 관련 비용인 데 반해, 교통량에 관련된 비용은 58% 정도로 비용배분에 가장 큰 부분을 차지하는 것을 알 수 있었다. 또한, 제시된

방법과 중분기법은 대체로 유사한 결과를 보여주었는데, 승용차와 픽업 트럭, 그리고 5차축 트레일러 트럭에 많은 비용을 할당하였다.

본 논문에서는 교통량과 교통하중을 고려한 방법을 제시하였는데, 좀더 합리적인 비용배분을 위해 교통량을 고려한 새로운 접근법들의 개발과 분석에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

이상원, 이종철, 전영호 (1997), 게임이론적 접근법에 의한 공항이착륙 시설의 비용배분, *경제논집*, 서울대학교 경제연구소, 36(2), 79~105.

Aumann, R.J., Shapley, L.S. (1974), *Values of Non-Atomic Games*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

Moulin, H. (1995), On Additive Methods to Share Joint Costs, *The Japanese Economic Review*, 46, 303~332.

Lee, D.J. (2002), *Game-Theoretic Procedures for Determining Pavement Thickness and Traffic Lane Costs in Highway Cost Allocation*, Ph. D. Dissertation, Department of Industrial Engineering, Texas A&M University.

Luskin, D., Garcia-Diaz, A., Walton, C.M., Zhang, Z. (2001), *Highway Cost Allocation in Texas: Final Report 1810-2*, Center for Transportation Research and Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, TX.

Redekop, J. (2000), *Increasing Marginal Cost and the Monotonicity of Aumann-Shapley Pricing*, Working Paper, University of Waterloo, Canada.

Shapley, L.S. (1953), A Value for n-person Games. In: Kuhn, H.W., Tucker, A.W. (Eds.), *Contributions to the Theory of Games, Vol. II, Annual Mathematics Study 28*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 307~317.

Transportation Research Board. (1997), Highway Capacity Manual, Transportation Research Board (National Research Council), Washington, D.C.
 Young, H.P. (1985), Methods and Principles of Cost Allocation In: Young,

H.P. (Eds.), Cost Allocation: Methods, Principles, Applications. Elsevier Science Ltd., North Holland, NY, 3~29.



이동주

동아대학교 산업공학과 학사
 Texas A&M University 산업공학과 석사
 Texas A&M University 산업공학과 박사
 현재: 공주대학교 산업시스템공학과 교수
 관심분야: 최적화, 물류관리, 일정관리, CIM
 FMS



황인극

아주대학교 산업공학과 학사
 The University of Iowa 산업공학과 석사
 Texas A&M University 산업공학과 박사
 현재: 공주대학교 산업시스템공학과 교수
 관심분야: 품질공학(다꾸지 방법), AS/RS,
 CIM, FMS, 실험계획법