

운반작업의 영향요소분석을 통한 덤프트럭의 운반속도 산정방법에 관한 연구

A Study on the Estimating of the Dump Truck's Travel Speed Based on Analysis of Factors Affecting Earthmoving Operation

박 현 용* · 태 용 호** · 우 성 권***

Park, Hyeon-Yong *§ Tae, Yong-Ho *§ Woo, Sung-Kwon ***

요 약

덤, 고속도로, 공항, 플랜트, 빌딩, 상하수도 처리장과 같은 많은 건설공사의 운반 작업이라 함은 프로젝트의 요구조건에 맞게 지면의 형상과 조건을 변형시키기 위하여 일정량의 토사를 운반하는 작업을 의미하며 흙 운반 작업의 정확한 이동시간의 계산은 작업의 생산성을 결정하고 궁극적으로 작업을 수행함에 있어 비용 효과적인 장비배치를 위해 필수적인 요소라 할 수 있다. 그리고 덤프트럭을 활용한 운반 작업은 설계가 대비 평균 6%의 비용을 차지하고 있어 덤프트럭을 이용한 운반 작업은 공사비 관리 측면에서 중요한 비용 인자로 구분되어 관리해야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 현재 공사가 진행 중인 현장의 덤프트럭 주행속도의 자료 수집을 통하여 각 도로유형별 주행 속도에 영향을 미치는 요소를 파악하고 해당 도로유형별 영향요소를 고려한 도로유형별 적정 주행 속도 산정에 관한 방법을 제시하고자 한다.

키워드 : 운반 작업, 생산성, 주행속도

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설 공사는 재료, 노무, 장비 등의 다양한 제약적 요소들에 의해 영향을 받고, 이러한 제약적 요소의 관리를 통하여 비용절감, 공기단축 및 생산성의 향상 등과 같은 효과를 달성할 수 있다. 특히 프로젝트의 요구조건에 맞게 지면의 형상과 조건을 변형시키기 위하여 일정량의 토사를 운반하는 작업으로 정의되는 운반 작업은 프로젝트의 완료에 중요한 부분을 차지하고 있으며, 운반 작업의 일부분인 이동시간의 정확한 계산은 작업의 생산성을 결정하고 궁극적으로는 작업을 수행함에 있어 비용 효과

적인 장비배치를 결정하기 위한 필수적인 요소라 할 수 있다 (Marzouk, Moselhi 2004).

국내 공공건설사업의 경우 예정가격산정기준으로 활용되고 있는 건설공사 표준품셈(이하 품셈)은 덤프트럭을 활용한 운반 작업에 있어서 적용할 수 있는 적재 상태 및 공차 상태에 대한 평균주행속도를 제시하고 있다. 하지만 품셈에서는 각 공사 현장 상황에 따른 상이한 방법들을 제시하기 보다는 일반적으로 동일한 조건에 대한 적용 방법들을 제시하고 있기에 각 현장별 특성을 반영하기에는 한계가 있다. 실질적으로 도로의 상태, 차로수, 신호등수와 같은 주행속도에 영향을 미치는 요소들에 따라 각 현장의 운반 작업은 상이한 속도를 가지지만, 품셈에서는 이러한 영향요소들이 고려되지 않아서 각 현장의 운반 구간에 품셈이 정한 주행속도를 적용하기에는 현실과의 괴리에 따른 무리가 따르게 된다. 또한 최근에 경제정의실천시민연합(2005, 이하 경실련)은 덤프운반과 관련한 운반 작업에서 한 해 많은 비용의 예산이 낭비되고 있다는 보도 자료를 발표했다. 덤프트럭을 활용한 운반 작업은 전제사업비에서 평균 6% 및 전체 토공사비의 30%를 차지하고 있어 공사비 및 공사일정에 있어 큰 영향을 미칠 수 있으며 운반 작업의 변동성에 대한 인식부족은 공사비

* 일반회원, 한국건설기술연구원 건설코스트연구센터 연구원, 공학석사, hypark@kict.re.kr

** 일반회원, 한국건설기술연구원 건설코스트연구센터 책임연구원, 공학석사, yhtaek@kict.re.kr

*** 종신회원, 인하대학교 토목공학과 조교수, 공학박사(교신저자), skwoo@inha.ac.kr

본 연구는 건설교통부 건설기술기반구축사업의 연구비 지원(과제번호 : 06 기반구축A03)에 의해 수행되었습니다.

의 증감 및 생산성의 잘못된 추정에 의한 공사일정 지연이라는 결과를 초래 할 수 있다.

운반 작업에 대한 선행 연구들은 주행시간 분석, 장비의 용량 및 적정 투입대수 결정 등 생산성의 측정 및 향상과 관련된 연구들이 대다수를 차지한다. 하지만, 이들 선행 연구의 대부분은 현장 내 운반을 주 연구대상으로 하고 있으며, 도심지 도로에서의 운반 작업에 대한 연구는 많이 이루어지지 못하였다. 선행 연구에서는 다양한 분석방법론들이 사용되었으며, 그 예로는 설문조사, 회귀분석, 퍼지이론, 시뮬레이션 등이 있으며, 이러한 선행 연구들 중에서 운반 작업에 영향을 미치는 영향요소들을 제시하고 있는 연구들로는 Christian and Xie(1996), Smith(1999), Marzouk and Moselhi(2004), 김경주외(2004)등의 연구가 대표적이다. 표 1은 이러한 선행연구들의 분석방법론과 각 연구에서 제시된 운반 작업의 영향요소들을 정리한 것이다.

표 1. 선행연구 정리

출처	분석방법론	영향요소
Christian, Xie(1996)	설문조사	차량 종류, 거리, 적재물 종류, 작업방법 등
Smith(1999)	회귀분석	도로상태, 구배, 거리, 적재장소, 적재시간, 적재량
Marzouk, Moselhi(2004)	퍼지클러스터링	최고주행가능속도, 거리, 차량 종류
김경주, 박찬혁(2004)	시뮬레이션	교통량

대부분의 연구에서 제시한 영향요소는 현장내 운반작업 중심으로서 신호등, 교통량 등과 같은 도심지 운반작업의 영향요소에 대한 분석은 없으며, 이는 도심지 중심의 운반작업에 대한 연구가 많이 이루어 지지 않았음을 보여준다. 이에 본 연구는 도심지 도로에서의 운반 작업을 대상으로 이동속도 변화에 따른 운반비용을 분석하고 현재 진행 중인 현장의 운반 작업을 대상으로 덤프트럭 주행속도에 대한 자료 수집을 통하여 각 도로유형별 주행속도에 영향을 미치는 요소를 파악하여 도로유형별 영향요소를 고려한 주행속도 산정에 관한 방법을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 도심지 도로에서의 흙 운반 작업을 중심으로 하며, 대상을 2차로 이상의 교통대기가 많은 시가지 도로 및 교통대기가 적은 시가지 도로로 한정하였다.

연구 진행은 기존 연구문헌 분석을 통하여 운반 작업의 영향요소를 확인하고, 실제 진행 중인 공사현장의 덤프트럭을 활용한 운반 작업의 자료를 수집하였다. 수집된 자료는 상자그림

(Box plot)을 통하여 분포 정도를 파악하고, 통계분석을 원활히 수행하기 위하여 양 끝단 10%의 값들을 제거한 후 상관분석을 통하여 2차로 이상의 교통대기가 많은 도로 및 적은 도로의 적재시 및 공차시 영향요소 분석을 하였으며, 각 도로 유형에 따라서 선별된 영향요소를 활용하여 도로 유형별 적재시 및 공차시에 대한 주행속도 산정 모형을 제시하였으며, 운반 작업에 큰 영향을 미치는 요소를 통하여 각각의 요소가 운반 속도에 미치는 영향 정도를 파악하여 결과값을 도출하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 마지막으로 회귀분석을 통해 제시된 산정 모형에 대하여 현장의 평균 주행 속도와의 비교를 통하여 모형에 대한 검증을 하였다.

그림 1은 연구의 프로세스 및 분석 방법을 도식화 한 것이며, 전체적인 연구진행에 있어 운반 작업의 영향요소 분석 및 주행속도 산정 모형을 산출하기 위하여 통계 분석도구인 SPSS 12k를 활용하였다.

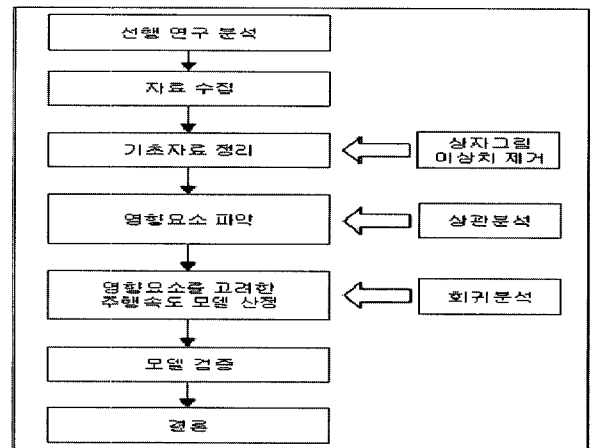


그림 1. 연구의 프로세스 및 분석 방법

2. 운반 작업

2.1 운반 작업의 분류 및 기준

토공사의 운반 작업은 크게 무대운반, 도저운반, 흙 운반으로 분류되며, 흙 운반의 경우 그 대상물의 종류에 따라 발파암, 리핑암, 토사운반으로 구분되어 진다(건설교통부, 2003). 무대운반이란 토공사에 있어 절토부와 성토부가 만나는 지점에서 발생하는 토사에 대한 운반 작업을 의미하며 발생하는 비용의 계상은 하지 않으며, 반면에 도저운반 및 흙 운반의 경우는 실제 발생하는 비용으로서 설계시 반영하여 계상한다. 품셈에서는 표 2와 같이 다양한 도로 유형에 따른 주행속도를 제시하고 있으며, 각 현장별 주행속도의 선정은 표2에서 제시한 현장조건 및 그와 동일한 조건에 의하여 설계자에 의해 판단된다.

표 2 품셈에서 제시한 도로유형별 평균주행속도
(한국건설기술연구원, 2005)

도로상태	평균속도 (km/h)	
	적재	공차
토취장 또는 토사장 등의 운행	5	7
성토장내의 미정비된 불량한 노면	7	10
1차로의 미개수된 교차대기가 필요한 산간지 도로		
1차로의 교차가 힘든 산간지 도로		
1차로의 교차대기가 필요한 공사용 가설도로	10	10
1차로의 제방 등의 도로		
교차가 가능한 제방 등의 도로	12	12
2차로의 미개수된 산간지 미포장도로		
2차로 이상의 개수된 산간지 미포장도로	15	15
2차로 이상의 공사용 가설도로		
2차로 이상의 교통량 및 교통대기가 많은 시가지 포장도로 (7,000대/일 이상), 2차로 이상의 미포장도로	20	20
2차로 이상의 시가지 포장도로(7,000~2,000대/일 이상)		
2차로 이상의 유지관리 상태가 극히 양호한 공사용 도로	25	25
2차로 이상의 교외 포장도로(2,000대/일 이상)		
2차로 이상의 극히 양호한 미포장도로	25	30
2차로 이상의 노면이 고르지 못한 포장도로 (2,000대/일 미만)	30	35
2차로 이상의 포장도로(2,000대/일 미만)	35	35
2차로 고속도로 또는 교통량(편도)1일 40,000대 이상의 4차로 고속도로	50	50
4차로 고속도로(편도 교통량 1일 40,000대 미만)	60	60

2.2 운반 작업의 공사비 측면의 중요성

국가가 시행하는 국도사업의 경우 토공작업은 전체 사업비의 30% 이상을 차지하고 있으며, 그림 2에서 알 수 있듯이 토공사 중 깎기, 운반, 쌓기의 공종이 전체 토공 작업의 90% 이상을 차지하고 있다(경실련 2005),

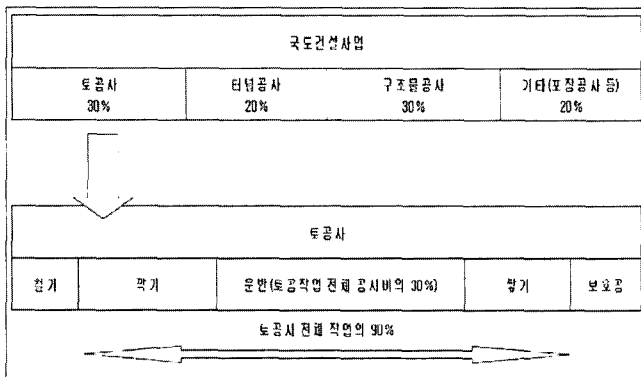


그림 2 토공사에서 운반 작업이 차지하는 비중(경실련, 2005)

경실련이 발표한 자료를 기초로 하여 깎기, 운반, 쌓기의 비용 중 운반비용이 차지하는 비중을 분석하면 평균 49.5%(국도건설 공사 8개 현장)정도이며, 전체 사업비에서 설계가 대비 6%정도

의 비중을 차지하고 있다.

(1) 설계내역서 상의 운반 작업 현행 작성기준

품셈에서 정해진 덤프트럭의 시간당 작업량의 산정방법은 아래와 같다.

$$Q = \frac{60 \times q \times f \times E}{cm} \quad (식.1)$$

$$q = \frac{T}{\gamma_t} \times L$$

Q = 1시간당 작업량(m³/hr)

q = 흐트러진 상태의 덤프트럭 1회 적재량(m³)

γ_t = 자연 상태에서의 토석의 단위 중량(습윤 밀도)(t/m³)

T = 덤프트럭의 적재용량

L = $\frac{\text{흐트러진상태의체적(m}^3\text{)}}{\text{자연상태의체적(m}^3\text{)}}$

f = 체적 환산계수

E = 작업효율(0.9)

cm = 1회 사이클 시간(분)

위의 식에서 알 수 있듯이 품셈에서 규정한 덤프트럭의 시간당 작업량 산정을 하기 위하여 토사 조건, 적재량, 중량, 토랑변화, 환산계수 및 효율을 통해서 구할 수 있다. 그림 3은 △△항 건설공사의 설계 내역서에 제시 되어있는 운반 작업의 시간당 작업량의 산출과정을 나타낸 것이다.

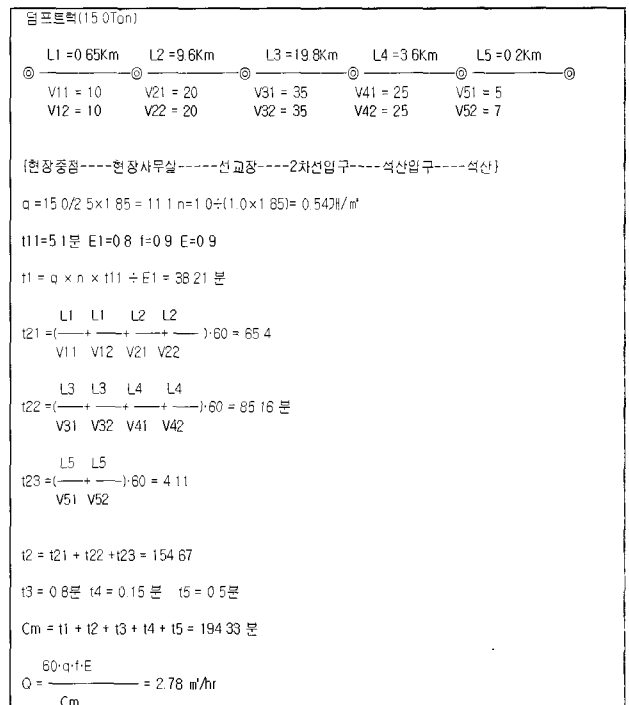


그림 3. △△항 건설공사 설계내역서의 운반 작업의 시간당 작업량 산출과정

(2) 운반 작업의 평균주행속도 변화에 따른 비용분석

덤프트럭을 활용한 운반비용은 표 4의 과정을 통하여 얻어진 해당 작업을 하기 위한 시간당 단가[원/hr]를 구하고, 산출되어진 물량을 곱함으로써 계산되어진다. 표 4는 그림 3으로부터 구해진 시간당 작업량 2.78(m³/hr)을 이용하여 덤프트럭의 시간당 운반 단가를 계산한 것이다.

표 4. 운반비용 산출근거 및 내역

항목	금액	계수	비용	단위
재료비	주연료 (경유)	814(원/ℓ) ×	21.1ℓ	17,175 (원/m ³)
	잡유	주연료의 ×	44%	7,557 (원/m ³)
노무비	건설기계 운전기사	77,606 ×	1/8×16/12×25/20	16,167 (원/m ³)
기계경비	장비손료	51,583,000 ×	2,664×(10 ⁻⁷)	13,741 (원/m ³)

운반단가산출(Q=2.78m³/hr)

항목	비용	작업량	단가	단위
재료비 단가(a)	24,732	÷	Q	8,896 (원/hr)
노무비 단가(b)	16,167	÷	Q	5,815 (원/hr)
기계경비 단가(c)	13,741	÷	Q	4,942 (원/hr)
합 (= $\frac{a+b+c}{Q}$)				19,653 (원/hr)

표 5는 그림 3의 설계내역서에 운반구간으로 제시되어 있는 한 지점(L3)의 속도를 임의적으로 변화시키면서 변화 속도에 대한 시간당 작업량(Q)의 변화정도와 운반단가의 증감정도를 나타낸 것이다. 덤프트럭의 주행속도가 15km/h의 증감이 발생하면 운반 단가의 5~13%의 변동이 발생 하며, 5km/h의 증감이 발생함에 따라 2~3%의 단가의 증감이 발생함을 확인 할 수 있다.

표 5. L3구간의 속도변화에 따른 운반비용 증감

L3적재 구간	Q (m ³ /hr)	운반단가 (원)	운반단가 증감	비고
20	2.45	22,302	113%	+13%
25	2.59	21,096	107%	+7%
30	2.70	20,237	103%	+3%
35	2.78	19,654	기준단가	
40	2.84	19,239	98%	-2%
45	2.88	18,972	97%	-3%
50	2.93	18,648	95%	-5%

3. 운반 작업 영향요소분석

3.1 운반 작업의 영향요소 파악

Marzouk and Moselhi(2004)에 의하면 운반 작업에서 이동 장비의 성능에 영향을 미치는 요소는 이동장비 자체에 관련한 분류와 이동구간의 도로 상태와 관련한 분류로 나눌 수 있다.

이동장비 자체에 관련한 요소는 장비의 사용기간 및 과도한 사용으로 인한 장비의 낡음 정도와 관련이 있고 이동구간의 도로 상태에 관련한 요소로는 직접적으로 운반 장비의 성능 및 주행시간에 영향을 미치는 요소들로 구분된다. 표 6은 선행연구에서 제시한 이동장비의 생산성에 영향을 미치는 요소들을 정리한 것이며 본 연구에서는 이 들 요소 중 차량에 관련한 요소 및 도로조건에 관한 요소를 정리하여 활용하였다.

표 6. 이동장비의 생산성에 영향을 미치는 요소

출처	주요 영향요소
Gransberg (1996)	· 적재 장비의 적재능력
Christian, Xie (1996)	· 차량의 종류 · 날씨 · 이동거리 · 적재물의 종류 · 작업방법
Smith (1999)	· 이동구간의 상태 · 도로의 구배 · 이동거리 · 적재 장소 · 적재 시간 · 적재량
Marzouk, Moselhi (2004)	· 최고 주행 가능 속도 · 이동 거리 · 차량의 종류
김경주, 박찬혁 (2004)	· 교통량

3.2 도로유형별 영향요인 분석

(1) 자료수집 및 자료정리

도로유형별 영향요인 분석을 통한 적정속도산정을 위해서 현재 진행 중인 공사현장에서의 자료를 수집하였다. 수집된 현장 자료에는 설계시 작성 기준으로 활용되었던 정보가 도로유형별로 파악이 가능하게 하였으며, 도로유형에 대한 장비의 특성 및 적재물의 종류, 거리, 신호등수와 같은 속도에 영향을 미치는 요소들에 대한 정보를 포함하고 있다.

표 7. 자료 수집 현황(단위:개수)

도로유형	현장수	수집된 자료(적재)	수집된 자료(공차)
2차로 이상의 교통대기가 많은 도로	7	230	230
2차로 이상의 교통대기가 적은 도로	4	144	144

분석에 사용되는 자료는 2005년 6월 9일부터 2005년 8월 24일까지 조사된 자료이며, 현재 시공 중인 공공건설공사를 대상으로 현장유형에 따라 도로건설공사 6개 현장, 택지 및 대지조성공사 4개현장, 주택공사 1개 현장으로 구성되었으며, 표 7은 현장의 자료수집현황을 나타낸 것이다.

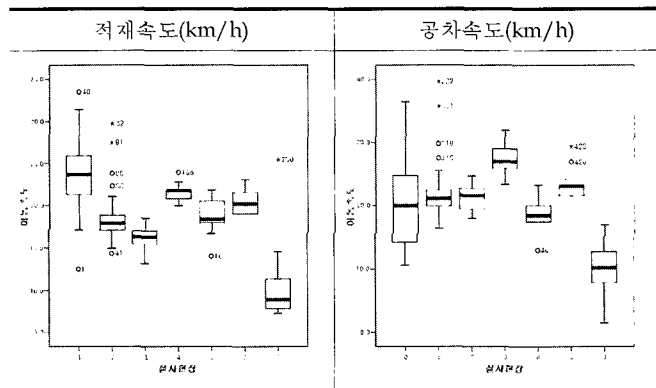


그림 4. 2차로 이상의 교통대기가 많은 시가지 도로

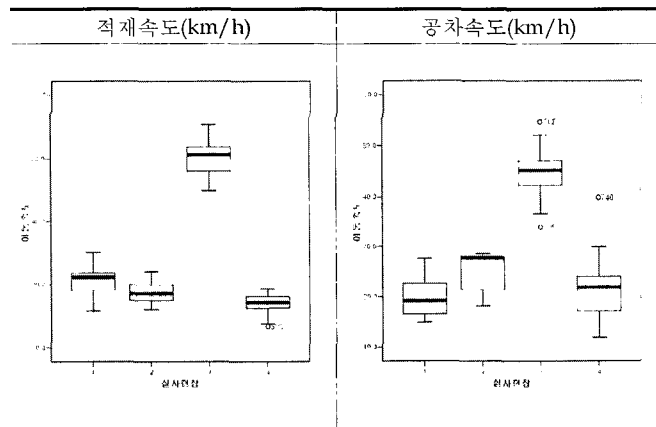


그림 5. 2차로 이상의 교통대기가 적은 시가지 도로

그림 4와 5는 현장별 수집된 자료에 대한 적재 및 공차시의 주행속도의 분포를 상자그림으로 표현한 것이다. 상자그림을 통해서도 알 수 있듯이 수집된 각 자료들은 이상치가 존재하며 이러한 이상치의 영향을 줄이기 위하여 양 끝단 10%를 제외하는 Trimmed Mean(OTT, 1993)방법을 사용하여 분석 하였다. Trimmed Mean은 평균의 분포가 이상치에 의해 영향을 받을때 양 끝단 일정 범위를 제외하여 분석하는 방법으로서, 표 8은 수집된 현장별 자료수와 10% Trimmed Mean을 활용하여 실제 분석에 활용된 자료수를 나타낸 것이다.

(2) 도로유형별 영향요소 분석

덤프트럭 주행속도 산정모델을 만들기 위해서는 적재 및 공차시 주행속도에 영향을 미치는 요소들을 선별해야 한다. 이 때 많

표 8. 분석에 활용할 자료의 수(단위:개수)

현장	원자료수	실 자료수	현장	원 자료수	실 자료수
1_1	40	33	2_1	40	33
1_2	52	43	2_2	52	43
1_3	44	34	2_3	44	34
1_4	30	25	2_4	30	25
1_5	15	12	2_5	15	12
1_6	15	12	2_6	15	12
1_7	34	28	2_7	34	28
합계	230	187	합계	230	187
3_1	60	49	4_1	60	49
3_2	20	16	4_2	20	16
3_3	30	24	4_3	30	24
3_4	34	25	4_4	34	25
합계	144	114	합계	144	114

이 활용되는 방법이 수집된 요소들 간의 상관관계를 활용하여 분석하는 것으로서, 흔히 상관계수의 값이 1과 0.7사이는 강한 상관관계, 0.7과 0.3사이는 뚜렷한 상관관계, 0.3과 0.1사이는 약한 상관관계, 마지막으로 0.1이하는 거의 무시될 수 있는 선형 관계라고 할 수 있다. 표 9는 상관분석을 위한 수집된 자료로부터의 영향요소 판단을 위하여 입력된 변수들을 정리한 것이다.

표 9. 상관분석을 위한 입력값

분류	분석에 활용되는 영향요소
차량조건	<ul style="list-style-type: none"> 적재량 적재물의 종류(발파, 리핑, 토사 등)
도로 조건	<ul style="list-style-type: none"> 차로수 신호등수 횡단보도수 운반거리 제한속도 교통량

또한 분석을 원활히 하기 위하여 수집된 자료의 신호등수 및 횡단보도 수는 km당 개수로 환산하여 사용하며, 적재물의 종류는 발파암, 리핑암, 토사 등으로 구분하여 입력한다. 제한 속도는 해당 도로구간의 실제 제한 속도를 사용하며 교통량의 경우는 주간 12시간 교통량을 사용한다. 주간 12시간 교통량을 사용하는 이유는 아침 7시부터 저녁 7까지의 해당 도로 구간의 교통량을 의미하기 때문에 현장의 이동 경로에 대한 교통량을 잘 표현

표 10. 도로유형별 적재 및 공차시의 영향요소 분석
 (**: 유의수준 0.01이하 유의함, *:유의수준 0.05이하 유의함)

도로 구분	구분	교통량	차로 수	적재물	적재량	제한 속도	운반 거리	km당 신호수	km당 횡단보도수	
2차로 이상의 교통대기가 많은 도로	적재	상관계수	-0.626**	-0.226**	-0.225	0.438**	0.087	0.341**	-0.588**	-0.648**
		유의확률	0.000	0.000	0.000	0.000	0.166	0.000	0.000	0.000
	공차	상관계수	-0.633**	-0.273**		0.194	0.076	0.549**	-0.648**	-0.570**
		유의확률	0.000	0.000		0.002	0.227	0.000	0.000	0.000
2차로 이상의 교통대기가 적은도로	적재	상관계수	-0.351**	0.080	-0.159*	0.466**	0.569**	-0.187**	-0.572**	-0.415**
		유의확률	0.000	0.240	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000
	공차	상관계수	0.334**	0.130		0.393**	0.594**	-0.254**	-0.496**	-0.341**
		유의확률	0.000	0.055		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

할 것이라 판단되기 때문이다. 표 10은 수집된 자료의 상관분석의 결과이다.

2차로 이상의 교통대기가 많은 도로의 경우 km당 신호등수와 km당 횡단보도수의 상관정도가 가장 큰 것으로 보이며, 운반거리 및 차로수와 적재물의 종류 또한 약한 상관관계가 존재하고 있다. 하지만, 유의확률이 유의수준 0.05보다 높은 값을 보이는 제한속도는 통계학적으로 유의하지 않음을 의미하며 이는 교통대기가 많은 도로에서 일반적으로 제한속도에 훨씬 못 미치는 주행속도가 발생하기 때문인 것으로 판단된다. 2차로 이상의 교통대기가 적은 도로에서는 km당 신호등수와 제한속도가 상관관계가 큰 것으로 보이며, km당 횡단보도수와 운반거리는 약한 상관관계를 보이고 있다. 또한 교통대기가 많은 도로와는 달리 적재시 및 공차시 주행속도에 대해서 차로수의 증감정도는 유의하지 않다는 결론을 얻었다.

4 도로유형별 적정 주행속도 산정 모델 개발

4.1. 선형회귀분석의 의미 및 가변수 코딩

회귀분석은 목적변수와 하나 이상의 설명변수들과의 관계를 정량적인 관계로 발전시키기 위한 활용성이 뛰어난 방법으로 잘 알려져 있다(Bethea et al, 1995).

덤프트럭 주행속도에 대한 상관분석의 결과 적재물의 종류에 따라 상관관계가 발생하고 있으나 적재물의 종류는 다른 영향요소처럼 연속형 변수가 아니라, 범주형 변수이기에 회귀분석에서는 적재물의 종류에 대하여 회귀식을 계산 할 수 없었다. 따라서 적재물의 종류와 같은 범주형 변수를 연속형변수로 바꿔서 입력해야 하는데, 이 때 자주 쓰이는 방법이 가변수(dummy variable)의 활용이다(오택섭, 최현철 2003). 적재물의 종류에 대해서 가변수를 사용하려면 먼저 식(2)와 같이 회귀분석에 활

용할 가변수의 수를 지정해야 한다.

$$\text{가변수의 수} = \text{적재물의 종류}(3) - 1 \text{ (식2)}$$

표 11은 식 2에 의해서 계산되어진 가변수에 대하여 회귀분석에 활용될 수 있게 코딩을 한 결과이며, 회귀분석에 활용할 경우 발파암의 경우 10, 리핑암은 00, 토사는 01의 값으로서 입력된 후 분석되어야 한다.

표 11. 가변수 코딩

적재물의 종류	적재물_발파암	적재물_토사
발파암	1	0
리핑암	0	0
토사	0	1

다중회귀분석은 많은 변수 값들을 대상으로 분석을 하기 때문에 변수간 다중공선성(multicollinearity)이 발생할 수도 있으며, 이러한 경우 단계선택법이 변수선택의 대안이 될 수 있다. 다중공선성은 두 개의 독립변수가 정확히 1차함수관계는 아니라도 상관관계가 ±1에 근접하는 변수들에서 발생하는데, 이러한 다중공선성의 발생은 회귀식의 계수를 산정하는데 적용되는 최소제곱법의 적용을 어렵게 한다. 주행속도 상관관계에서 보듯이 km당 신호등수와 km당 횡단보도 수는 주행속도의 큰 상관관계를 가지고 있으며, 표 12에서 보이는 것처럼 두 변수들의 관계에서도 상관관계가 존재하기 때문에 본 연구에서는 km당 신호등수를 선택하여 분석하였다.

표 12. 신호등수와 횡단보도수의 상관분석결과
 (**: 유의수준 0.01이하 유의함)

도로유형	구분	통계치
2차로이상의 교통대기가 많은 시가지 도로	상관계수	0.949**
	유의확률	0.000
2차로 이상의 교통대기가 적은 시가지 도로	상관계수	0.980**
	유의확률	0.000

4.2 회귀분석을 통한 주행속도 산정 모델

(1) 적재시 주행속도 산정 모델

토공사 현장에서 발생하는 운반 작업은 적재물의 종류에 따라 토사, 발파암, 리핑암 등으로 구분되며, 적재물의 종류에 따라 주행속도의 변화가 발생할 것이다. 이에 본 연구에서는 적재물의 종류의 고려여부에 따른 비교를 하기 위하여 표 14와 같이 적재시 적재물의 종류를 고려한 모형 및 고려하지 않은 모형을 제시하였으며 표 13은 회귀계수의 유의성 및 공선성의 검증의 결과를 정리한 것이다.

표 13. 회귀계수에 대한 유의성 및 공선성 검증(적재시)

구분	비표준화계수		표준화 계수		t	유의 확률	공선성 통계	
	모형	β	표준 오차	버타			공차 한계	VIF
2차로 이상의 교통대기가 많은 도로	(상수)	42.708	1.395		30.607	0.000		
	차로당교통량	-0.002	0.000	-1.016	-16.271	0.000	0.429	2.333
	적재물_발파암	-11.617	0.879	-1.224	-13.210	0.000	0.194	5.143
	적재물_토사	-16.570	0.999	-1.821	-16.591	0.000	0.139	7.210
2차로 이상의 교통대기가 적은 도로	(상수)	25.210	0.877		28.734	0.000		
	차로당교통량	-0.001	0.000	-0.439	-7.564	0.000	0.671	1.489
	운반거리	0.459	0.080	0.361	5.720	0.000	0.567	1.763
	km당신호등수	-1.480	0.203	-0.429	-7.273	0.000	0.650	1.537
2차로 이상의 교통대기가 적은 도로	(상수)	32.875	4.062		8.093	0.000		
	제한속도	1.189	0.051	0.548	23.110	0.000	0.453	2.208
	km당신호등수	-5.962	0.240	-0.489	-24.806	0.000	0.655	1.528
	적재물_토사	-12.903	0.973	-0.342	-13.266	0.000	0.382	2.618
2차로 이상의 교통대기가 적은 도로	(상수)	69.940	8.217		8.511	0.000		
	제한속도	1.836	0.093	0.829	19.651	0.000	0.193	5.192
	km당신호등수	1.439	0.413	0.109	3.482	0.001	0.349	2.864
	운반거리	-0.832	0.120	-0.352	-6.952	0.000	0.134	7.479
	교통량	-0.001	0.000	-0.693	18.352	0.000	0.240	4.158

표 14는 회귀분석을 통해서 분석된 비표준화 계수를 사용하여 정리한 주행속도 산정식을 표현한 것이다.

표 14. 각 도로유형별 적재시의 주행속도 산정식

도로유형	적재물	회귀식
2차로 이상의 교통대기가 많은 도로	구분 (O)	$y = 42.708 + (0.002 \times x_1) + (0.492 \times x_2) - (11.617 \times x_5) - (16.57 \times x_6)$
	구분 (X)	$y = 25.210 + (0.001 \times x_1) + (1.480 \times x_2) + (0.459 \times x_4)$
2차로 이상의 교통대기가 적은 도로	구분 (O)	$y = 32.875 + (1.189 \times x_3) + (3.539 \times x_5) - (12.903 \times x_6)$
	구분 (X)	$y = 69.940 + (1.836 \times x_3) + (1.439 \times x_2) - (0.832 \times x_4)$

계수설명
 x_1 : 차로당교통량, x_2 : km당신호등수
 x_3 : 제한속도, x_4 : 운반거리
 x_5 : 발파(1, 토사, 리핑암:0)
 x_6 : 토사(1, 발파, 리핑암:0)

(2) 공차시 주행속도 산정 모델

덤트트럭의 주행속도를 산정하는데 있어 덤트트럭의 공차시 주행에 대하여는 적재물에 대한 영향을 받지 않기에 적재물의 종류를 고려할 필요가 없다. 표 15는 덤트트럭의 공차시 분석되어진 회귀계수에 대한 유의성 및 공선성 검증 결과이고 표 16은 이러한 비표준화 계수를 사용하여 회귀식으로 표현한 것이다.

표 15. 회귀계수에 대한 유의성 및 공선성 검증(공차시)

구분	비표준화계수		표준화 계수		t	유의 확률	공선성 통계	
	모형	β	표준 오차	버타			공차 한계	VIF
2차로 이상의 교통대기가 많은 도로	(상수)	25.426	0.732		34.742	0.000		
	km당신호등수	-2.371	0.230	-0.451	-10.316	0.000	0.766	1.306
	운반거리	0.747	0.058	0.640	12.960	0.000	0.600	1.668
2차로 이상의 교통대기가 적은 도로	(상수)	-84.363	4.026		-20.954	0.000		
	제한속도	1.665	0.051	1.398	32.467	0.000	0.333	3.002
	차로당교통량	-0.005	0.000	-0.788	-22.981	0.000	0.526	1.901
	운반거리	0.401	0.056	0.328	7.100	0.000	0.289	3.458

표 16. 각 도로유형별 공차시 주행속도 산정식

도로유형	회귀식	계수설명
2차로 이상의 교통대기가 많은 도로	$y = 25.426 - (0.001 \times x_1) - (2.371 \times x_2) + (0.747 \times x_4)$	x_1 : 차로당교통량 x_2 : km당신호등수
	$y = -84.363 - (0.005 \times x_1) + (1.665 \times x_3) + (0.401 \times x_4)$	x_3 : 제한속도 x_4 : 운반거리

4.3 주행속도 산정모델의 검증

제안된 모델에 대한 통계학적 분석도 중요하지만, 실 수집 데이터의 현장 조건에 대한 반응 정도 파악도 큰 의미를 가진다. 그림 6과 그림 7은 수집된 자료의 현장의 평균 주행속도와 현장별 조건을 반영한 두 가지 모델 및 품셈에서 제시한 주행속도 값을 비교한 것이다.

그림 6의 1_1부터 1_7현장은 2차로 이상의 교통대기가 많은 도로의 적재시 주행속도를 의미하며, 2_1부터 2_7은 같은 현장의 공차시 주행속도를 나타낸다. 3_1부터 3_4현장은 2차로 이상의 교통대기가 적은 도로의 경우 적재시 주행속도를 나타내며, 4_1부터 4_4현장은 같은 현장의 공차시 주행속도를 나타낸다. 그림에서 보듯이 영향요소를 고려한 주행속도 산정식의 경우가 현장에 따른 특성을 잘 보여주고 있다는 결론을 얻을 수 있었으며, 특히 1_7번 현장은 같은 유형의 현장보다 교통량 33,142대/일 및 km당 신호등수도 2.94개로서 영향요소의 영향이 심하여

주행속도가 9km/h로 나왔으며, 반대로 3_3현장의 경우는 교통량 10,642대/일, km당 신호등수 0.36개로서 영향요소의 영향이 적은 경우로 주행속도가 높은 것을 알 수 있다. 공차시의 2_7 현장 및 4_3현장의 경우도 적재시와 마찬가지로 영향요소의 영향을 받은 것으로 판단된다.

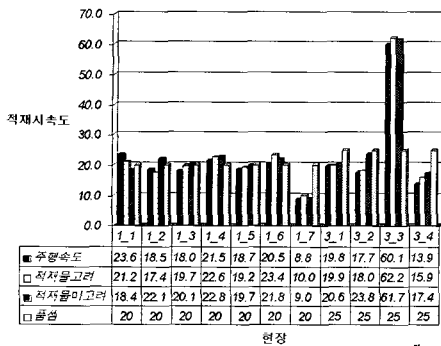


그림 6. 덤프트럭 주행속도 비교(적재,km/h)

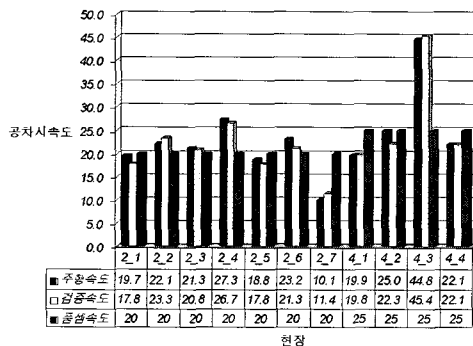


그림 7. 덤프트럭 주행속도 비교(공차,km/h)

5. 결론

덤프트럭을 활용한 운반작업은 전체 사업비에서 평균 6% 및 토공사비용의 30%정도를 차지하고 있어 공사비에 큰 영향을 미치고 있다고 볼 수 있다. 현재 예정 가격산정기준으로 사용되고 있는 품셈에서는 도로유형별 적재 및 공차에 대한 기준을 제시하고 있지만 덤프트럭을 활용한 주행속도는 현장별 운반구간의 도로조건 및 도로상황 등 많은 영향요소의 영향을 받기 때문에 기준으로 주어진 속도의 적용은 예정공사비의 변동을 초래할 수도 있다. 한 구간 내에서의 주행속도의 변화는 (-)5에서 (+)13%까지의 변동이 발생하였으며, 운반 작업의 물량이 많거나 이동거리가 먼 경우에는 공사비에 큰 영향을 받을 수 있다. 본 연구에서 제시된 주행속도 산정식은 건설공사의 계획단계 및 설계단계에서 사용하기에는 다소 어려울 수 있고 실제 주행속도에 영향을 미치는 많은 제한 요소들 중 일부만 고려하였다는 점

에서 한계점을 가지고 있으나, 이는 주행속도 산정에 대한 새로운 방법을 제시한 것이며 품셈에서 제시한 각 도로기준에 맞는 영향요소를 고려한 주행속도 산정방법으로의 활용을 할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 건설교통부(2003). 국토건설공사 설계실무 요령, 건설교통부, pp. 71.
2. 김경주, 박찬혁(2000). "교통흐름을 고려한 장비 계획을 위한 시뮬레이션 모델 구축", 대한토목학회논문집, 제 24호 제 3-D호, 대한토목학회, pp. 423-428.
3. 경제정의실천시민연합(2005). 건교부 국토건설공사 예산낭비 실태 분석, 경제정의실천시민연합, pp. 별첨1-4.
4. 오택섭, 최현철(2003). "사회과학 분석법②", 나남출판, pp. 69-74.
5. 한국건설기술연구원(2005). 2005 건설공사 표준 품셈, 한국건설기술연구원, pp. 246-249.
6. Bethea, M. R., Duran, S. B., Boullion, L. T.(1995). Statistical Methods for Engineering and Scientists, Marced Decker, inc., U.S.A., pp. 287-295.
7. Christian, J., Xie, T. X.(1996). "Improving Earthmoving Estimating by More Realistic Knowledge", Canadian Journal of Civil Engineering, 23:250-259
8. Gransberg, D. D.(1996). "Optimizing Haul Unit Size and Number Based on Loading Facility Characteristics", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol 122, No. 3, pp. 248-253
9. Ott, R. L.(1993). "An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis", Wadsworth, Inc., U.S.A., pp. 73-75.
10. Marzouk, M., Moselhi, O.(2004). "Fuzzy Clustering Model for Estimating Hauler's Travel Time", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol 130, No. 6, pp. 878-886.
11. Smith, S. D.(1999). "Earthmoving Productivity Using Linear Regression Techniques", journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 125, No. 3, pp. 133-141.

논문제출일: 2006.10.28
 심사완료일: 2007.05.14

Abstract

In many construction projects, such as dams, highways, airports, buildings, industrial plants, and sewerage and drainage systems, earthmoving operation is defined the movements of a certain quantity of earth to alter the surface configuration or conditions so that projects requirement can be met. Accurate calculation of travel time is essential for determining productivity of earthmoving operations, and for ultimately selecting the most cost-effective fleet configuration for executing the work. Also, transportation work that utilizes dump truck consists average 6% in the whole expenses earthmoving operation, and is an important cost factor for cost management. Therefore this study proposes a methodology for optimum transfer speed based on the analysis of factors affecting earthmoving operation in different road types by collecting the sources of dump truck running speeds and considering the main factors affecting the earthmoving operation.

Keywords : Earthmoving operation, Travel speed, Productivity,
