

다양한 제약조건을 갖는 열개의 파쇄장비 모델들 중 최적 모델 선정을 위한 방법과 신뢰성

- A Methodology and Reliability for Selecting the Optimal
Model among Ten Models of Crushing Machine with
Various Constraints -

임 영 문 *

Leem Young Moon

황 영 섭 *

Hwang Young Seob

Abstract

It is not difficult to see the road repairing. There are many and various machines which crush road surface. The efficiency and power of the machine depend on crushing head-shape, crushing interval, crushing load, crushing stress, machine's dropping height and roller's kind. The objective of this study is to select the optimal model among ten models of crushing machine with constraints such as crushing depth, variation, and crushed particle size. And then this paper provides the valid theoretical base on selected model. The data for this study are chosen from the site of construction in Kangnung during three months (2004. 6. 1 ~ 2004. 8. 31). The provided methodology in this paper will be fruitful not only for the selection of crushing machine but also for the aspects of construction period, cost, work efficacy according to the condition from the various sites of construction.

Keyword : Crushing Machine, Various Constraints, Optimal Model, Valid Theoretical Base

† 본 논문은 2005년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음

* 강릉대학교 산업공학과

1. 서론

우리는 어렵지 않게 차를 타고 가거나 길을 걷다가 도로공사가 행해지고 있는 것을 보곤 한다. 또한 공사 현장에서 도로를 보수하기 위해 도로 표면을 파쇄 하는 것도 자주 목격할 수 있는 일이다. 도로표면을 파쇄 하는 파쇄기에는 다양한 종류가 있으며, 각각의 파쇄기에 부착되어 있는 파쇄 Head-Shape 및 파쇄 간격, 파쇄 하중, 파쇄 응력, 파쇄기의 낙하높이, 다짐장비 등에 따라 파쇄 능력에는 차이를 보이게 된다. 본 연구에서는 10개의 파쇄 장비 모델을 선택하여 각각의 파쇄 Head-Shape 및 간격에 따른 파쇄 깊이를 실제 공사장에서 측정한 후 세 가지 사전 충족 조건 (파쇄 깊이, 변동률, 골재 규격)을 만족 시키는 모델 선정에 대한 방법을 제시하고자 한다. 본 연구에서 제시되는 방법은 여러 공사 현장에서 주어지는 조건에 따라 적절한 파쇄 장비의 선정은 물론 공기의 단축, 작업의 효율성, 경비의 절감 등에 기여할 수 있으리라 생각된다.

2. 연구목적 및 방법

본 연구의 궁극적인 목적은 공사 현장에서 사용하게 될 가장 효율적인 파쇄 장비 모델을 선정하는 것이다. 선정 시 우선적으로 고려해야만 하는 사항은 주어진 파쇄 깊이 (10cm에 근접할수록 좋음), 변동률 (작을수록 좋음), 분쇄된 골재의 규격이고 ($C_u > 4$ 이고 $1 < C_c < 3$), 파쇄장비는 도로 표면을 분쇄하기 위한 head가 있는데 교체가 가능하여 여러 형태의 head가 분쇄 시에 사용되었다. 또한 파쇄 시 도로표면의 간격에 변화를 주면서 파쇄를 실시하였는데 각각의 모델은 < 표 1 >에 나타나 있다. 파쇄 하중은 10ton, 12ton의 두 종류를 적용하여, 파쇄 응력은 80 kg/cm^2 , 100 kg/cm^2 , 120 kg/cm^2 , 127 kg/cm^2 , 153 kg/cm^2 의 다섯 종류를 적용하여 실험이 실시되었다. 다짐장비는 양축식 롤러와 진동 롤러를 적용하였으며, 낙하 높이는 1.5 m, 1.6 m, 1.7 m, 1.8 m, 1.9 m의 높이를 적용하여 실험이 실시되었다. 본 연구를 위한 데이터의 수집은 강릉 근처에 소재하는 사천의 공사장에서 현장소장의 지원 하에 가로 10m 세로 30m의 가설 콘크리트 도로를 만들어 놓고 2004년 6월 1일부터 8월 31일까지 비가오거나 장비에 문제가 생긴 11일을 제외한 80여일에 걸쳐 실시되었다. 자료 수집 과정 중 아쉬웠던 사항은 공사현장의 건설 진행상 G1-A모델에 관한 골재 규격과 파쇄 깊이에 대한 데이터와 G1-B 모델의 파쇄 깊이에 관한 데이터를 얻을 수 없었다는 점이다. 본 연구를 위해 얻어진 자료는 통계 Software인 MINITAB을 이용하여 처리하였고 분석 방법으로는 One-Way ANOVA기법을 이용하였다.

< 표 1 > Ten models and their specifications

Model	파쇄 Head-Shape 및 간격	파쇄하중 (ton)	파쇄응력 (kg/cm ²)	다짐장비	낙하높이 (m)	파쇄골재 규격	파쇄 깊이	
L2-B		10	127	양측식롤러	1.5	Cc:0.186 Cu:29.185	9.0	7.1
							8.0	9.7
							9.3	8.0
							8.3	7.7
L3		12	80	진동롤러	1.7	Cc:0.2 Cu:20.640	5.5	7.2
							6.7	8.1
							7.5	5.9
							8.9	6.6
L4		10	100	진동롤러	1.6	Cc:2.288 Cu:29.767		
L5		12	120	진동롤러	1.9	Cc:1.370 Cu:29.186	5.3	6.1
							3.8	6.7
							5.7	2.4
							4.6	4.3
							6.0	4.0
							6.1	5.7
4.8	3.0							
2.9	6.0							
G1-A		10	127	진동롤러	1.5			
G1-B		10	127	진동롤러	1.5	Cc:1.424 Cu:8.015		
G1-C		10	127	진동롤러	1.5	Cc:2.236 Cu:14.363	6.4	4.0
							7.7	5.8
							8.0	6.4
							10	4.7
							12	7.8
							5.2	3.7
G2		12	153	진동롤러	1.8	Cc:1.161 Cu:10.031	16.3	7.6
							11.2	7.3
							7.1	14.0
							4.0	5.7
							9.9	
L1		12	153	진동롤러	1.5	Cc:3.751 Cu:30.186	8.6	8.7
							11.0	7.5
							7.6	8.8
							7.2	8.7
							7.4	9.1
							7.5	
L2-A		10	127	진동롤러	1.5	Cc:1.313 Cu:28.049	12.0	8.0
							9.4	9.9
							8.5	6.7
							7.6	

3. 연구결과 및 고찰

< 표 1 >에서 볼 수 있는 바와 같이 각 모델에 대한 실험 회수가 다르기 때문에 본 연구에서는 < 표 2 >와 < 표 3 >에서 나타난 바와 같이 One-Way ANOVA (unstack 형태)를 사용하여 데이터 분석을 하였고 분석 후에 분석 결과의 타당성을 검증하고자 Boxplots과 Dotplots을 적용하였다. 분석 이전에 다음의 세 가지 조건이 만족되고 있는지를 고려하였다.

조건 1 : 파쇄 깊이가 10cm에 근접할수록 좋은 데이터가 된다. 파쇄 깊이가 클수록 좋은 조건이 되지만, 여기서는 모든 인자들의 평균이 10cm 이하이기 때문에 파쇄 깊이가 10cm에 가까울수록 좋다는 것을 의미한다.

조건 2: Variation이 작을수록 좋은 데이터가 된다.

조건 3: 자갈질의 파쇄 골재 규격이 $Cu > 4$ 이고, $1 < Cc < 3$ 이어야 한다.

< 표 2 > Unstack data of crushed depth

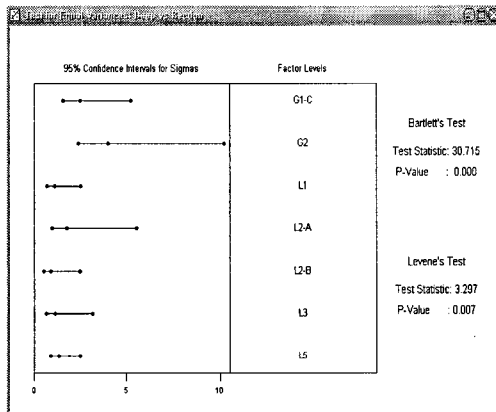
↓	C2 L2-B	C3 L3	C4 L5	C5 G1-C	C6 G2	C7 L1	C8 L2-A
1	9.0	5.5	5.3	6.4	16.3	8.6	12.0
2	8.0	6.7	3.8	7.7	11.2	11.0	9.4
3	9.3	7.5	5.7	8.0	7.1	7.6	8.5
4	6.3	6.9	4.6	10.0	4.0	7.2	7.6
5	7.1	7.2	6.0	12.0	9.9	7.4	8.0
6	9.7	8.1	6.1	5.2	7.6	7.5	9.9
7	6.0	5.9	4.6	4.0	7.3	6.7	6.7
8	7.7	6.6	2.9	5.8	14.0	7.5	
9			6.1	6.4	5.7	8.8	
10			6.7	4.7		8.7	
11			2.4	7.8		9.1	
12			4.3	3.7			
13			4.0				
14			5.7				
15			3.0				
16			6.0				

< 표 3 > Analysis result

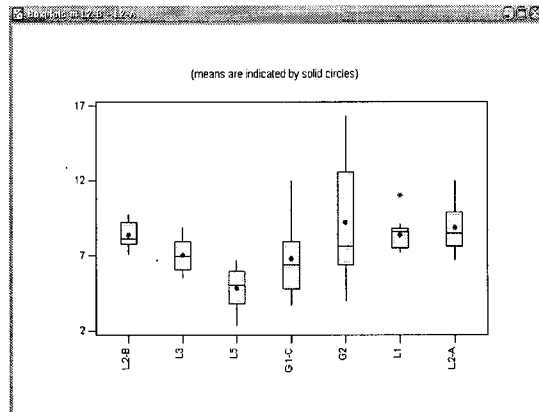
One-way ANOVA: L2-B, L3, L5, G1-C, G2, L1, L2-A								
Analysis of Variance								
Source	DF	SS	MS	F	P			
Factor	6	173.43	28.91	6.98	0.000			
Error	64	265.17	4.14					
Total	70	438.60						
Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev								
Level	N	Mean	StDev	-----+-----				
L2-B	8	8.388	0.876	(-----)				
L3	8	7.050	1.121	(-----)				
L5	16	4.837	1.323	(-----)				
G1-C	12	6.808	2.454	(-----)				
G2	9	9.233	3.997	(-----)				
L1	11	8.373	1.110	(-----)				
L2-A	7	8.871	1.749	(-----)				
Pooled StDev =				2.036	4.0	6.0	8.0	10.0

각 모델들의 수준별 평균을 비교해 보면, L2-B가 8.388, L3이 7.050, L5가 4.837, G2-C가 6.808, G2가 9.233, L1이 8.373 그리고 L2-A가 8.871로 나타났는데, 최적 조건 3가지 중 첫 번째 조건에 의하면, 평균이 10cm에 근접할수록 좋다고 했으므로 평균이 8cm이상 10cm이하 사이의 Data 수준인 모델들이 첫 번째 조건을 만족한다고 볼 수 있다. 따라서 수준의 평균이 8cm미만인 L3, L5 그리고 G1-C는 첫 번째 조건을 만족하지 못하기 때문에 제외 시켜야 한다. 그러므로 결국 모델 L2-B, G2, L1 그리고 L2-A가 첫 번째 조건을 만족한다고 볼 수 있다. 이렇게 처음에 주어진 3가지 조건 중에서 첫 번째 조건을 만족하는 수준이 4개로 함축되게 된다.

MINITAB[1][4][5]를 이용하여 파쇄 깊이에 따른 등분산성[2][3]을 검토한 결과는 < 그림 1 >에 나타나 있다.

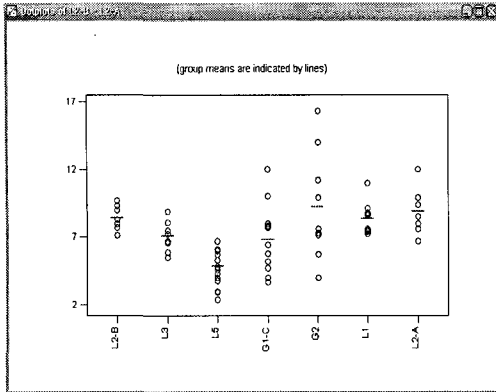


< 그림 1 > Test for Equal Variances for crushed depth

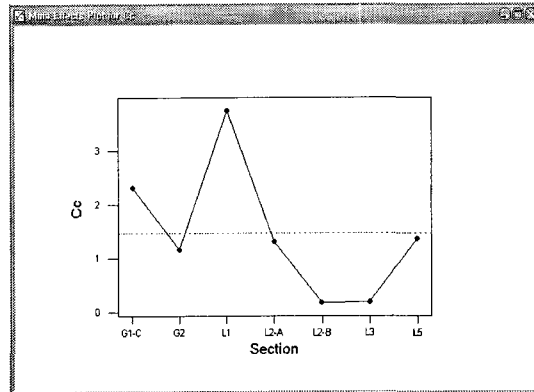


< 그림 2 > Boxplots of model L2-B and L2-A

위의 < 그림 1 >에서 볼 수 있듯이 Variance가 가장 큰 것은 모델 G2인 것을 알 수 있고 다른 모델들은 비교적 Variance가 작다는 것을 알 수가 있다. 그렇기 때문에 G2는 두 번째 조건 “분산이 작을수록 좋다”라는 조건을 만족하지 못하는 Data로 결정됐다. < 그림 1 > 만으로 산포가 얼마나 차이가 있는지, 그리고 이상치는 없는가를 뚜렷하게 판단 할 수가 없기 때문에 Boxplots과 Dotplots[6]을 통해 더 자세히 분석하였다. < 그림 2 >의 Boxplots에서 나타난 바와 같이 모델 L1은 이상치를 포함하고 있어 적합한 모델이 아니라고 판단되고, < 그림 1 >에서와 마찬가지로 여기에서도 역시 G2의 산포가 가장 크다는 것을 알 수가 있다. 본 연구에서 이상치가 있는 모델은 실험을 할 때 외부적이거나 내부적인 오류가 있는 것으로 판단하여 이상치가 있는 수준은 적합하지 않다고 판단하였다. 따라서 < 그림 1 >에서의 분석과 동등하게 각 모델별 Boxplots에서도 G2는 두 번째 조건에 적합하지 않은 모델로 판단된다.



< 그림 3 > Dotplots of model L2-B and L2-A



< 그림 4 > Main effects plot of crushed particle size

< 그림 3 >의 Dotplots를 통해서도 알 수 있듯이 앞의 < 그림 1 >과 < 그림 2 >에서와 마찬가지로 다른 모델들에 비해 G2의 산포가 가장 큰 것을 볼 수 있다. 따라서 앞의 등분산성 Test, Boxplots 그리고 Dotplots를 통해서 공통적으로 내릴 수 있는 결론은 G2는 산포가 다른 모델에 비해 너무 크다는 것을 알 수가 있다. 그러므로 두 번째 조건 “분산(Variation)이 작을수록 좋다.”는 조건에 부합되게 된다. 지금까지의 과정을 통해, 첫 번째 조건과 두 번째 조건을 동시에 만족하는 모델은 총 10개중에 L2-B와 L2-A 두 모델인 것을 알게 되었다. 마지막 세 번째 조건은 자갈질의 파쇄 골재 규격이 $C_u \geq 4$ 와 $1 < C_c < 3$ 을 만족해야 한다는 것이다. < 표 1 >을 보면 파쇄 골재 규격에서 Data들이 모두 $C_u \geq 4$ 를 만족하고 있기 때문에 $1 < C_c < 3$ 인 조건을 만족하는 모델을 찾아내면 될 것이다.

< 그림 4 >는 파쇄 골재 규격에 대한 Main Effects Plot을 나타낸 것으로써, 규격 조건을 만족하는 1이상 3이하 수준인 모델은 G1-C, G2, L2-A와 L5이다. 하지만 모델 G1-C와 L5는 파쇄 깊이의 평균이 작았기 때문에 첫 번째 조건을 만족하지 않는다.

그렇게 되면 남는 모델은 G2와 L2-A가 되는데 모델 G2는 Variation이 작을수록 좋다는 두 번째 조건을 충족하지 못하고 있어 모든 조건을 만족시키는 모델은 L2-A가 된다. 그러므로 L2-A가 가장 효과적인 모델이다.

4. 가설검정

앞에서 One-Way ANOVA, Equal Variances, 그리고 Main Effects 분석에서 나왔던 결과를 가지고 L2-A가 가장 좋을 것이라는 것이 이론적 근거로 증명이 되었다.

여기서 첫 번째 조건을 가지고 가설 검정을 하고자 한다.

가설은 우선 “각 인자들의 평균이 10에 가까울수록 좋다.”라는 것을 증명하기 위해 MINITAB에서 Test Mean을 10으로 설정을 한다. 그리고 신뢰구간은 95%로 하며, 가

설 검정에는 단측 검정과 양측 검정이 있는데 여기에서는 양측 검정을 사용하고자 한다.

여기서 귀무가설 $H_0=0$ 이라는 영가설로써 “평균이 10에 가깝다.”가 되고, 대립가설 $H_1 \neq 0$ 라는 것으로써 “평균이 10에 가깝지 않다.”라는 것이다.

이러한 조건들을 가지고 MINITAB에서 One-Sample t TEST를 해본 결과가 < 표 4 >이다.

< 표 4 > One-Sample T Test

One-Sample T: L2-B, L3, L5, G1-C, G2, L1, L2-A				
Test of mu = 10 vs mu not = 10				
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean
L2-B	8	8.388	0.876	0.310
L3	8	7.050	1.121	0.396
L5	16	4.837	1.323	0.331
G1-C	12	6.808	2.454	0.709
G2	9	9.23	4.00	1.33
L1	11	8.373	1.110	0.335
L2-A	7	8.871	1.749	0.661
Variable	95.0% CI		T	P
L2-B	(7.655,	9.120)	-5.21	0.001
L3	(6.112,	7.988)	-7.44	0.000
L5	(4.132,	5.543)	-15.61	0.000
G1-C	(5.249,	8.368)	-4.50	0.001
G2	(6.16,	12.31)	-0.58	0.581
L1	(7.627,	9.118)	-4.86	0.001
L2-A	(7.253,	10.489)	-1.71	0.139

< 표 4 >에서 볼 수 있는 것과 같이 G2와 L2-A가 각각 0.581과 0.139로 유의 수준 0.05보다 크므로 유의 하지 않다는 것을 알 수가 있고 G2와 L2-A에 비해 나머지 인자들 (L2-B, L3, L5, G1-C, 그리고 L1)은 유의 수준 0.05보다 낮으므로 유의한 것을 알 수가 있다. 즉, 유의하지 않은 인자 G2와 L2-A는 평균이 10에 가깝다는 것을 뜻하고, 유의 하지 않은 나머지 인자들은 평균이 10에 가깝지 않다는 것을 의미한다. 그러므로 10에 가깝다는 귀무가설을 만족 시키는 것은 G2와 L2-A 모델임을 알 수가 있다.

그리고 여기서 두 모델 중 분산에 차이가 있는가 알아보도록 하자. 분산은 신뢰구간과 밀접한 관련이 있다. 신뢰구간이 크면 분산도 크다는 것을 의미하고, 신뢰구간이 작으면 분산이 작다는 것을 의미한다. 여기서 G2의 신뢰구간은 (6.16, 12.31)이고, L2-A의 신뢰구간은 (7.253, 10.489)이다. G2의 신뢰구간 범위는 6.15가 되고, L2-A의 신뢰구간 범위는 3.236인 것을 알 수 있다. 즉, 분산이 더 작은 것은 L2-A가 된다. 그러므로 평균이 10에 가까우면서 분산이 작은 것은 L2-A 모델인 것을 알 수 있다.

5. 결론 및 추후연구

본 연구에서 다루어진 내용은 실제 공사 현장에서 발생하였던 문제점을 해결하기 위한 방법과 그 타당성을 제시하였다. 본 연구결과의 의의는 실제 공사 현장에서 15년에서 20년 이상 파쇄 모델을 사용하고 도로파쇄 작업에 참여해 본 경험이 있는 작업자들이 가장 좋을 것이라고 추천하였던 모델과 본 연구에서 제시한 결과가 일치하였다는 점이다. 현재 우리나라에서는 많은 곳에서 도로 보수 및 보강 등을 위해 도로 파쇄가 진행 중에 있다. 본 연구에서 제시한 파쇄모델 선정 방법을 적용한다면 각 공사장에서는 필요로 하는 적절한 파쇄장비가 사용될 수 있을 것이며 그 결과로 공기의 단축, 작업의 효율성, 경비의 절감 등에 기여할 수 있으리라 사료된다.

6. 참고 문헌

- [1] 김상익 외 4, 미니탭을 이용한 통계학의 이해와 응용, 민영사, p342~349, 2004.
- [2] 김정환, 분산분석의 이해, 교육과학사, p7~52, 2001.
- [3] 원태연, 시각화 데이터 분석법, SPSS 아카데미, p1~15, 2001.
- [4] 서순근, MINITAB 신뢰성 분석, 이레테크, p137~140, 2002.
- [5] 유성모, MINITAB을 이용한 데이터 분석 실습, 이레테크, p115~128, 2002.
- [6] <http://www.statedu.com>

저 자 소 개

임영문: 연세대학교에서 학사, 석사학위를 취득하였고, 미국 텍사스주립대학교 산업시스템공학과에서 공학박사를 취득하였으며, 미국 ARRI (Automation and Robotics Research Institute) 연구소에서 선임연구원 및 연구교수를 거쳐 현재는 강릉대학교 산업공학과 부교수로 재직중이다.

황영섭 : 현재 강릉대학교 산업공학과 대학원 재학 중이며 관심분야는 Ubiquitous System, 알고리즘 분석 및 활용 등이다.