

噴射流의 底質에 대한 掘削性能에 관한 研究

金哲浩 · 高冠瑞
釜山水產大學 漁業學科

The Excavating Performance of Jet Stream for the Ground

Cheol-Ho KIM and Kwan-Soh KO

*Department of Fishing, Technology
National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737 Korea*

This study is just to be carried out to grasp the efficiency of jet stream excavating for the ground. Changing the dynamic pressure, nozzle diameter, distance off the ground, we measured the impulse, the excavated depth, the excavated width. According as each dynamic pressure increases from 100 to 500gf/cm², the impulse of the jet stream increases from 43 to 114gf, from 52 to 227gf, from 114 to 506gf, from 137 to 768gf, in 4, 6, 8, 10mm nozzles respectively, but it makes no difference in the value of distance within 50cm off ground. The excavated depth increases at the invariable rate in accordance with nozzle diameter, dynamic pressure, nozzle distance.

We obtain the equations relevant to the ground I, II as follows:

$$L_I = [0.01(H/r - 100) - 0.43 \cdot l + 11.78] \cdot D/4$$

$$L_{II} = [0.03(H/r - 100) - 0.34 \cdot l + 6.39] \cdot D/4$$

where, L_I , L_{II} are respectively the excavated depths of the ground I, II, cm; H is the dynamic pressure, gf/cm²; l is the distance off the ground, cm; D is Nozzle diameter, mm; r is the specific weight, 1gf/cm³.

서 론

분사류(water jet)는 그 직진성과 운동에너지를 이용하여, 흙, 바위, 금속 등을 효율적으로 절단하는 등 이용가치가 높아 토목, 건축분야 등에서 산업적으로 개발 이용되고 있으며(解體工法研究會, 1979; 日本土木學會, 1980), 어업분야에서는 미국, 일본 등에서 분사류를 해저굴삭(海低掘削)에 이용한 유체분사식형망(流體噴射式桁網)이 개발되어 사용중에 있다.

유체분사식형망은 분사류의 해저 굴삭성능을 이용함으로써 재래식의 형망에서 사용하던 갈퀴가 갖는 문제점을 개선하여 파손되지 않는 조개의 채

취를 가능하게 하고 어획율을 높일 수 있으며, 비교적 적은 인력으로서도 조업이 가능하다는 이점이 있다(Macphall, 1961; Stendley et al., 1967; Sidle, 1986; Cooper et al., 1981; Snolowitz et al., 1982; 北海道新聞社 出版部, 1986).

본 연구에서는 유체분사식형망에서 사용되는 분사류에 관한 기초연구로서 분사류의 세기와 발생 및 이용방법에 따른 해저 굴삭성능과 굴삭형상을 파악하고자, 실험장치로서 원형노즐과 반원형노즐을 제작하고, 수조에 모래와 물을 담아 노즐의 구경, 노즐끝에서의 동압(動壓), 분사거리, 저질(底質) 등의 변화에 따른 굴삭성능과 굴삭형상을 검토·분석하였다.

재료 및 방법

1. 노즐(Nozzle)의 구조

본 실험에서 사용한 노즐은 원형과 반원형 두가지로서 구경이 4, 6, 8, 10mm가 되도록 총 8가지를 제작하였다.

노즐재료는 황동이고, 단면의 조도(粗度)는 Ra. 1.3 μ m이며(李, 1979), 분사류의 중심축에 대한 분사각도는 공기중에서 1 $^{\circ}$ ~2 $^{\circ}$, 수중에서 8 $^{\circ}$ ~12 $^{\circ}$ 이었다.

노즐의 형상은 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

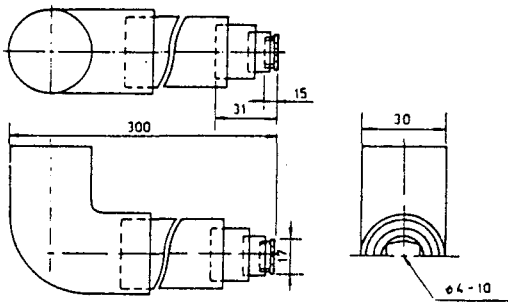


Fig. 1. The shape of a circle nozzle.

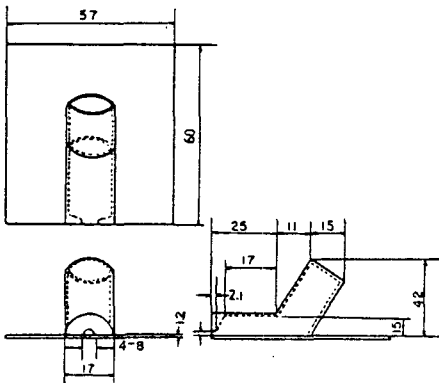


Fig. 2. The shape of a half circle nozzle.

2. 분사장치

분사장치는 Fig. 3에 나타내었다.

노즐의 교환이 용이하도록 끝에 외경 22mm인 주철 니플로서 연결하여, 이것을 외경 25mm, 길이 45mm PVC파이프에 삽입하였고, 이 파이프를 외경 29.5mm, 길이 20cm PVC파이프에 삽입하여, 직경 30mm인 엘보우를 사용하여 길이 57cm의 PVC 파이프에 연결하였다. 이때 PVC파이프의 조도는 각

각 Ra. 0.9 μ m이었다.

분사장치 뒤에는 펌프로부터 토출되는 유량이 직경 30mm, 조도 Ra. 7.4 μ m, 길이 203cm인 호스를 통해 전달되도록 하였으며, 노즐로부터 벤츄리관까지의 총길이는 298cm가 되도록 하였다. 벤츄리관의 규격은 30cm, 1 $^{\circ}$, 25 $^{\circ}$ 이었다.

현재 일본에서 사용되고 있는 유체분사식형망의 토출량이 0.67~1.00m³/min이므로 노즐 1개당 토출량은 25~35l/min로 추정된다. 따라서 본 실험에서는 대략 50l/min내의 유량에서 실험하였다.

펌프의 규격은 정격소비전력 750W, 양수량 40l/min, 흡상높이 28m이었다.

본 실험에서는 by-pass밸브로서 실험장치에 유입되는 유량을 조절하였고 이 유량의 변화에 따라서 노즐끝의 압력을 조절하였다.

유량의 측정은 벤츄리관을 통하여 행하였으며, 노즐끝 부근에는 압력계를 달아서 벤츄리관에서 측정된 유량과 상호 비교한 후, 실험에서 필요한 노즐끝에서의 동압 설정은 벤츄리관의 유량을 조절함으로써 가능하도록 하였다.

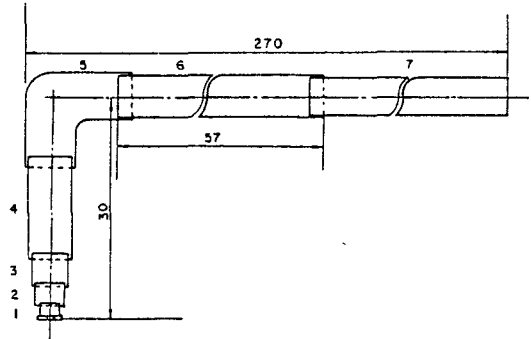


Fig. 3. The scheme of a jet equipment.

(1: Nozzle 2: Nipple 3,4,6: Pipe
5: Elbow 7: Hose)

3. 실험방법

1) 동압측정

노즐을 통과하는 유량 Q, 유속 V 및 노즐끝의 동압 H는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = C_c \cdot S \cdot V \quad (1)$$

$$V = C_v \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0} \quad (2)$$

$$H_0 = H/r \quad (3)$$

$$C_d = C_c \cdot C_v \quad (4)$$

단, Q: 유량(l/sec) V: 노즐끝의 유속(cm/sec)

S: 단면적(cm²) H₀: 위치수두(cm)

H: 노즐동압(gf/cm²)

r : 물의 단위체적당 중량($1gf/cm^2$)

C_c : 수축계수 C_v : 속도계수

C_d : 유량계수 g : 중력가속도($980cm/sec^2$)

식(1), (2), (3), (4)를 변형시켜 노즐동압 H 에 관하여 정리하면

$$H = \gamma Q^2 / 2C_d^2 S^2 g \quad (gf/cm^2) \quad (5)$$

이 된다(李, 1977; 金, 1983).

이 식에서 γ , S , g 는 일정한 값을 가지므로 토출 유량 Q 로 부터 노즐동압 H 를 계산해 낼 수 있다.

그런데 식(5)의 $C_d \times S$ 는 노즐과 호스의 전 손실을 나타내는 값으로서

$$T = C_d \times S \quad (6)$$

라 두면 T 는 전 손실계수가 된다(金, 1983).

식(5)를 정리하면

$$H = \gamma Q^2 / 2T^2 g \quad (gf/cm^2) \quad (7)$$

이 된다.

또한 트리첼리의 정리(李, 1977)에 의하면 오리피스에 있어서

$$T = \gamma Q / \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0} \quad (8)$$

라 둘 수 있으며, 식(8)을 이용하여 유량 Q 와 수두 H_0 를 측정하므로써 T 계수를 산정하였다.

실험은 각 노즐에 있어 수두를 30, 50, 60, 70cm로 일정히 유지시키고 이에 따른 유량 Q 를 5회 측정하여 평균한 값을 취하여 T 값을 구하였다.

각 노즐에서의 유량 Q 와 계수 T 를 나타낸 것은 Table 1과 같다.

노즐끝의 동압은 Table 1의 T 계수를 대입하므로써 식(7)에서 유량 Q 에 따라 계산해 낼 수 있다.

Table 1. Water volume (Q) per minute and coefficient T for the nozzles (Diameter: mm, Q: l/min.)

Head(cm)	4mm				6mm				
	Circle		Half circle		Circle		Half circle		
	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	
30	2.48	0.0102	1.04	0.0043	5.29	0.0214	2.75	0.0113	
50	2.17	0.0080	1.16	0.0037	6.15	0.0196	3.05	0.0097	
60			1.20	0.0034			3.15	0.0092	
70	3.26	0.0080			7.23	0.0190			
Mean		0.0087		0.0038		0.0196		0.0101	
	8mm				10mm				
	30	9.83	0.0405	4.46	0.0184	15.21	0.0627	5.53	0.0228
	50	11.48	0.0366	4.82	0.0154	17.93	0.0573	6.78	0.0154
	60			5.03	0.0147			6.42	0.0187
	70	12.29	0.0303			19.47	0.0526		
Mean		0.0367		0.0162		0.0575		0.0188	

2) 분사류의 운동량

분사류가 저질에 작용하는 힘을 알고자 부산수산대학 해양과학연구소내에 있는 콘크리트 수조(L 404×W115×H64cm)에서 Fig. 4와 같이 실험장치를 설치하여 노즐끝의 동압, 구경, 거리 등을 각각 변화시키고, 이들의 변화에 따른 분사류의 운동량을 측정하였다.

분사류가 정면에 부딪치도록 설치한 피분사판은 정사각형으로서 면적 225, 400, 625, 900cm²인 4종류를 사용하였고, 판의 네 모서리에는 직경 1.2mm인 강철선을 연결하여 수조의 후방벽면의 네 모서리에 고정시키고, 동시에 전면으로 4각대의 철선을 내고 2각각의 묶어서 중간에 설치된 베어링을 통과시켜 로드셀에 연결하였다. 이때의 베어링 효율

은 각각 0.94, 0.95, 0.97, 0.98이었다.

분사류를 판에 분사시킬 때 피분사판이 받는 저항은 스트렌게이지를 통하여 측정하였으며, 측정 신호는 증폭기로 1,000배 증폭하여 기록계(Solid state recorder, Model No. B5227 0005-962)에 나타내었다.

분사판에서 노즐까지의 거리는 0, 5, 10, 15, 20, 30, 50cm로 변화시키고 노즐의 각도는 0°, 30°, 45° 및 60°로 변화시켜 노즐로부터의 거리와 노즐각도에 대한 운동량의 값을 측정하였다.

또한 피분사판의 조도변화에 따른 운동량의 변화를 파악하고자 판면에 4종의 사포(J49: Ra. 12μm, 120Cw: Ra. 20μm, AA50: Ra. 220μm, AA49: Ra. 325μm)를 붙여서 조도를 변화시켰다.

실험중에는 벤츄리관에서의 수두와 압력계를 상호 비교하면서 실험하였으며, 펌프와 수면과의 위치는 40.5cm, 흡입수두는 70cm로 하였다.

실험에서 얻는 각 노즐에 있어서의 수두 H의 변화에 따른 동압을 나타낸 것은 Table 2와 같다.

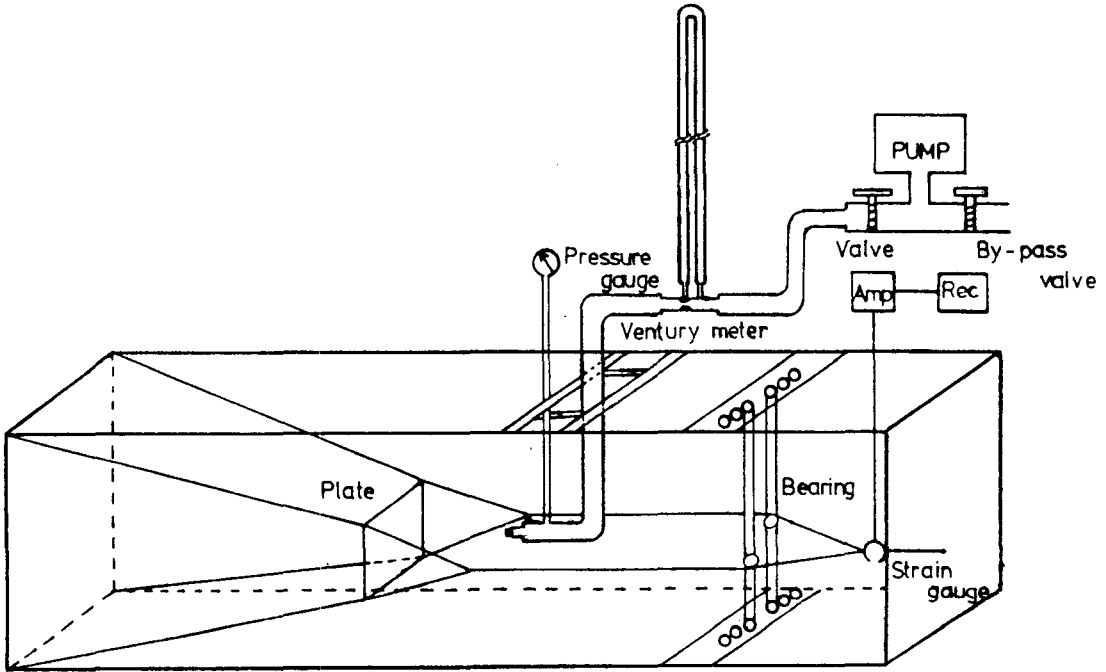


Fig. 4. The arrangement of experimental equipment to measure the impulse.

Table 2. The relation between value of impulse and dynamic pressure for each nozzle (H: gf/cm^2 ; Impulse: gf)

H	4mm		6mm		8mm		10mm	
	Half circle	Circle	Half circle	Circle	Half circle	Circle	Half circle	Circle
100	25	43	36	52	78	114	63	137
200	36	68	48	81	108	194	108	273
300	40	75	84	115	130	243	233	273
400	64	96	112	173	214	422	310	625
500	87	114	109	227	240	506	460	769
700	140	171	141	247		817		
1000	205	303	182	306				
2000	420	613	350	788				

(H: dynamic pressure)

3) 분사류의 굴삭기능

원형노즐로부터 분사되는 분사류가 저질을 파헤치는 형상을 파악하고자 Fig. 5와 같이 별도의 실험장치로서 수조안에 모래를 담아 노즐의 동압, 구경, 거리를 각각 변화시켜 이들의 변화에 따른 분사류의 굴삭형상을 파악하였다.

수조 바닥의 모래속에 Fig. 5에서 나타낸 바와 같이 한번이 0.4cm인 정육면체 스티로폼을 1cm간격으로 가로 40개×세로 40개를 연직 단면으로 심고 이들 1,600개의 스티로폼에 번호를 붙여 연직단면에서의 위치를 알 수 있게 하였다.

분사류에 의해 파헤쳐진 평면형상이 원형이었으므로 분사류를 분사하여 떠오르게 되는 스티로폼의 갯수와 번호로서 수조 바닥의 길이별 단면 형상을 기하학적으로 유추하여 굴삭형상을 입체적으로 해석하였다.

이때 모래는 실제 바지락이 서식하는 간석지 어장에서 채취한 세사인 저질 I과 간석지의 수역밖에서 채취한 보다 굵은 모래인 저질 II로 구분하였다.

저질 I, II를 저질교반기(Sieve shaker: C68090/n)로서 분석하여 입자크기별의 비율을 나타낸 것은 Table 3과 같다.

실험에 있어서 저질 입자간 공극(空隙)과 일정한 압밀도(壓密度)를 유지시키기 위하여(土壤物理硏究會, 1979) 반복 실험시 모래를 퍼내어 다져 주면서 묻고 압력으로 침입도(侵入度)(Smolowita, 1982)가 3.2cm정도가 되게 하였다.

실험은 노즐을 저질면으로부터 0, 5, 10, 15, 20, 30cm의 각 위치에 고정하여 행하였는데 이때 bypass밸브로서 유량을 변화시켜 분사류의 노즐끝의 동압을 100, 200, 300, 400, 500, 1000, 2000(gf/cm^3)의 7단계로 설정하였으며, 저질면까지의 수심은 40

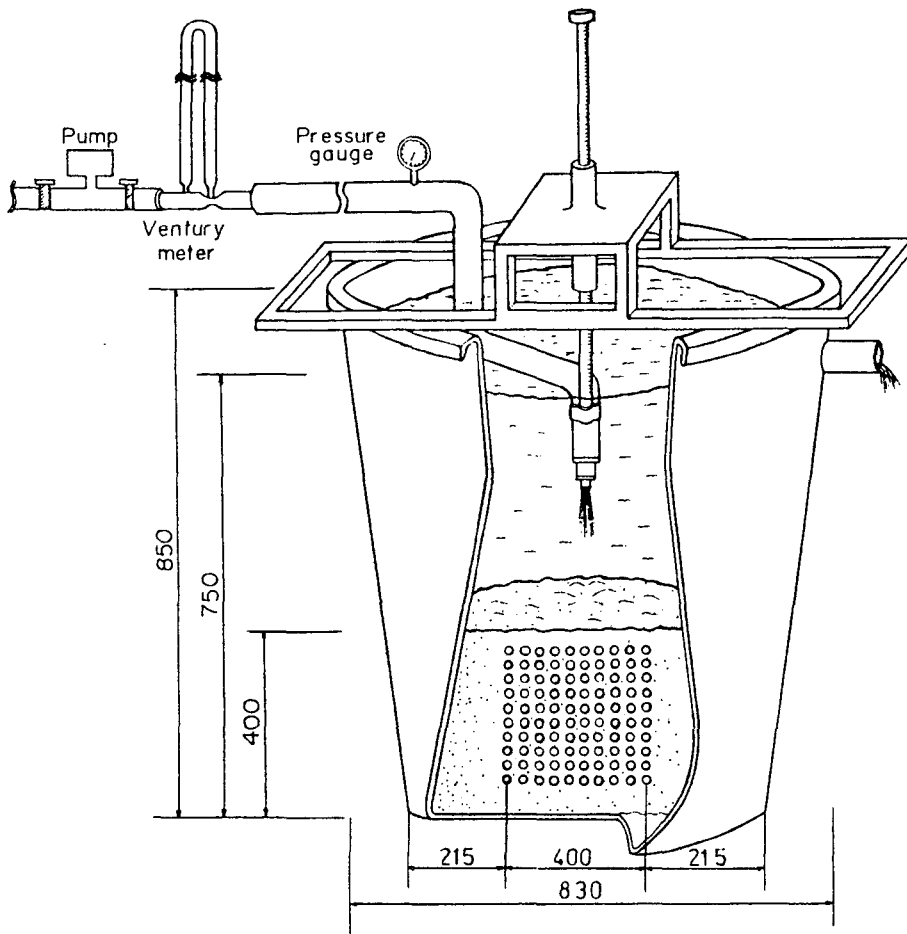


Fig. 5. The experimental set-up to measure the excavating performance of jet stream.

cm를 유지시켰다.

한편, 반원형노즐을 사용한 실험은 Fig. 6과 같이 4각수조에서 반원주 단면을 눈금이 그려진 유리벽면에 접착시켜 분사류의 굴삭형상이 이 유리벽면을 통하여 직접 관찰되도록 하였다. 이 실험에서 분사류의 굴삭형상은 노즐형상과 유사한 반원으로 나타났고 같은 동압에서는 원형노즐의 굴삭형상을

반분하여 굴삭깊이와 반경이 거의 일치하는 것으로 보였다. 따라서 반원형노즐에서 유량 $Q/2$ 일 때의 굴삭형상은 원형노즐에서 유량 Q 일 때의 굴삭형상을 반분한다고 보아진다. 이것은 식(7)에 Table 3의 계수 T 의 값을 대입하여 계산된 일정유량에 대한 동압이 원형노즐과 반원형노즐에서 일치하는 것에서 알 수 있다.

Table 3. Size analysis data sheet

Ground	Gravel	Sand (diameter, mm)						
		2	1~2	0.5~1	0.25~0.5	0.125~0.25	0.062~0.125	Silt
I(%)	3.68	0.06	0.51	0.87	11.50	73.10	16.94	1.96
II(%)	19.68	19.68	19.14	23.13	23.47	13.05	1.52	0

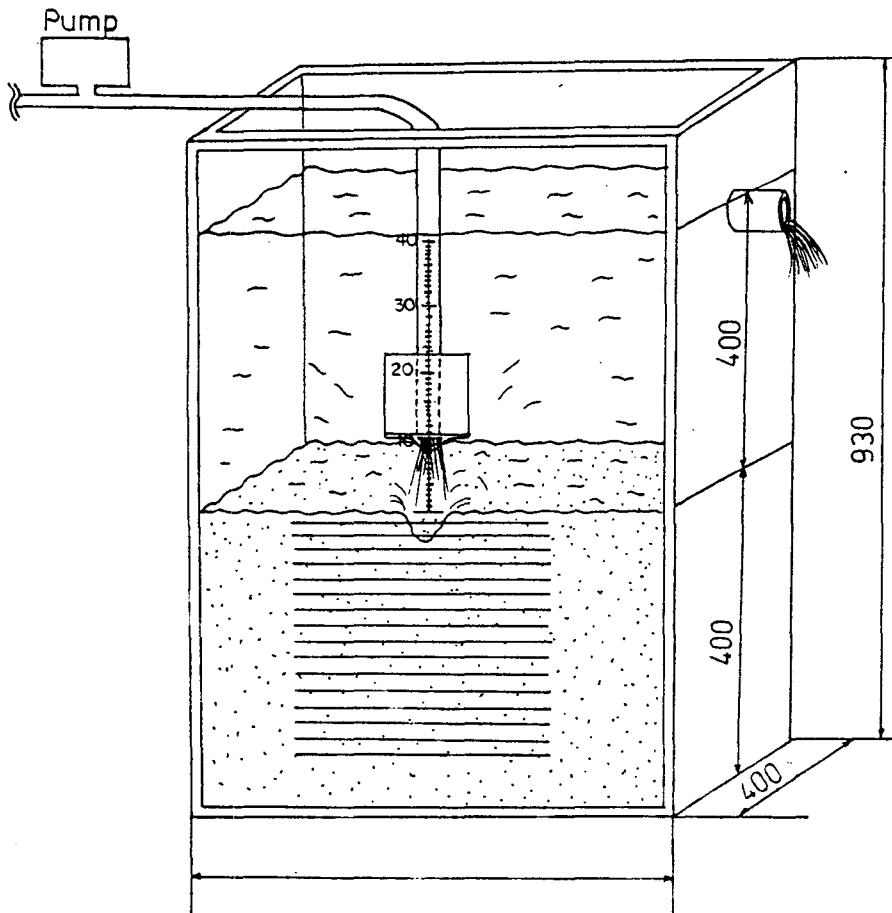


Fig. 6. The experimental set-up to measure the excavated performances of jet stream in half circle nozzle.

결과 및 고찰

Fig. 7은 저질 I에 대해 노즐높이가 0cm일때 4, 6, 8, 10mm 원형노즐에서 동압의 변화에 따른 굴삭깊이의 변화를 나타낸 것이다.

이론적으로 보면 굴삭깊이는 동압이 증가함에 따라 지수곡선적으로 나타나겠지만, 좁은 영역의 동압에서는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 직선적으로 증가하였는데, 이것은 같은 동압에서는 노즐구경이 커짐에 따라 토출량이 많아지기 때문에 굴삭깊이가 증가하는 것으로 생각된다.

Fig. 8은 저질 I에 대해 노즐높이가 0cm일때 동압이 증가함에 따른 4, 6mm의 원형노즐과 반원형노즐에서의 굴삭깊이를 나타낸 것으로, 동압이 증가함에 따라 원형과 반원형노즐에서의 굴삭깊이가 거의 일치하며, 직선적으로 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 저질 I에 대해 동압 100gf/cm²일때 4, 6, 8, 10mm노즐에서 거리의 증가에 따른 굴삭깊이의 변화를 나타낸 것으로, 모든 노즐에서 저질과의 거리가 증가함에 따라 굴삭깊이가 직선적으로 감소하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 10은 저질 II에 대해 노즐높이가 0cm일때 4, 6, 8, 10mm 반원형노즐에서 동압의 변화에 따른 굴삭깊이의 변화를 나타낸 것이다.

Fig. 10에서 보면 굴삭깊이는 동압이 증가함에 따라 직선적으로 증가하였으나, Fig. 7에 비해 크게 작아졌는데, 그 이유는 저질 I보다 II가 모래입자의 크기가 크기 때문으로 생각된다. 따라서 굴삭깊이는 저질의 종류에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

굴삭깊이 L과 동압 H와의 관계는

$$L = a \times H + b \quad a, b; \text{상수}$$

로 나타낼 수 있으며, 이때의 계수 a, b의 값은 최소자승법(最小自乘法)으로 추정하여 Table 4에 나타내었다. 각 관계식은 상관계수 R이 0.97이상의 높은 신뢰도를 나타내었다.

Fig. 11은 저질 II에 대해 동압 100gf/cm²일때 4, 6, 8, 10mm 반원형노즐에서 거리의 증가에 따른 굴삭깊이의 변화를 나타낸 것으로, Fig. 10에서와 같이 굴삭깊이는 직선적으로 감소하나 저질 I에 비해 작게 나타났다.

굴삭깊이 L과 노즐높이 l의 관계는

$$L = a \times l + b \quad a, b; \text{상수}$$

로 나타낼 수 있으며, 이때 a, b는 최소자승법으로 추정하여 Table 5에 나타내었다. 각 관계식은 Table 4와 마찬가지로 0.95이상의 높은 신뢰도를 나타내

었다.

Fig. 12는 노즐 8mm에서 동압의 증가에 따른 굴삭폭의 변화를 나타낸 것으로 동압이 증가하면 굴삭형상이 커지고 이에 따라 굴삭폭도 증가하는 현상을 나타내었다. 그러나 일정한 직선적인 상관관계는 보이지 않았다.

Fig. 13은 노즐거리가 증가함에 따른 굴삭폭의 변화를 나타내고 있다.

노즐거리와 굴삭폭과의 일정한 상관관계가 나타나지 않았지만 거리가 증가함에 따라 굴삭폭이 증가하였다. 이것은 거리가 멀어지면 경계층(境界層)에 따라 흐름이 확대됨(Kestin, 1968)으로 나타나는 결과이다.

분사류에 의해 파헤쳐진 굴삭형상은 대개가 지수함수적인 그래프로 나타났다. 각 굴삭지점에 따라 굴삭폭(W)과 굴삭깊이(L)로 지수회귀분석(指數回歸分析)을 하면

$$L = a \cdot b^{1/W} \quad a, b; \text{상수}$$

로 나타낼 수 있다.

Fig. 14는 각 노즐높이에서 파헤쳐진 굴삭형상을 지수회귀분석하고 대표적인 값 $L = A \cdot B^{1/W}$ 를 구하여 편대수좌표에 나타낸 것이다.

노즐이 저질과 멀어짐에 따라 분사류는 경계층에 따라 분류가 확대된다. 거리가 멀어짐에 따라 굴삭형상은 기울기가 완만하며 굴삭폭이 굴삭깊이에 비해 상대적으로 커졌다. 노즐이 저질에 5, 0cm로 근접할 때는 물, 모래의 교란으로 굴삭형상의 윗부분이 이그러지는 현상도 나타났다.

노즐끝의 동압 H, 노즐의 높이 l, 노즐의 구경 D가 증가함에 따라 굴삭깊이는 일정한 기울기로 증가, 혹은 감소하였다. 이 세 변수를 사용하여 평균 굴삭깊이와의 관계를 구한다. l이 일정할 때 L과 H와의 관계는 Fig. 7, Fig. 10에서 기울기, a₁, a₃와 같은 직선적 관계가 보인다. 또 L과 l의 관계도 Fig. 9, Fig. 11에서 기울기, a₂, a₄와 같은 일정한 직선적 관계를 나타낸다.

따라서 L과 H, l사이에는 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$L_I \approx \bar{a}_1(H/\gamma - 100) + \bar{a}_2 \cdot l + K_I$$

$$L_{II} \approx \bar{a}_3(H/\gamma - 100) + \bar{a}_4 \cdot l + K_{II}$$

$$\text{단, } 100 \leq H \leq 500(\text{gf/cm}^2)$$

$$0 \leq l \leq 30(\text{cm})$$

$\bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{a}_3, \bar{a}_4$ 는 a₁, a₂, a₃, a₄의 평균값이다.

또, L과 노즐구경 D와의 사이에는 직선적인 관계를 보였으므로 L은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$L_I \approx (\bar{a}_1(H/\gamma - 100) + \bar{a}_2 \cdot l + K_I) \cdot D/D_0$$

$$L_{II} \approx (\bar{a}_3(H/\gamma - 100) + \bar{a}_4 \cdot l + K_{II}) \cdot D/D_0$$

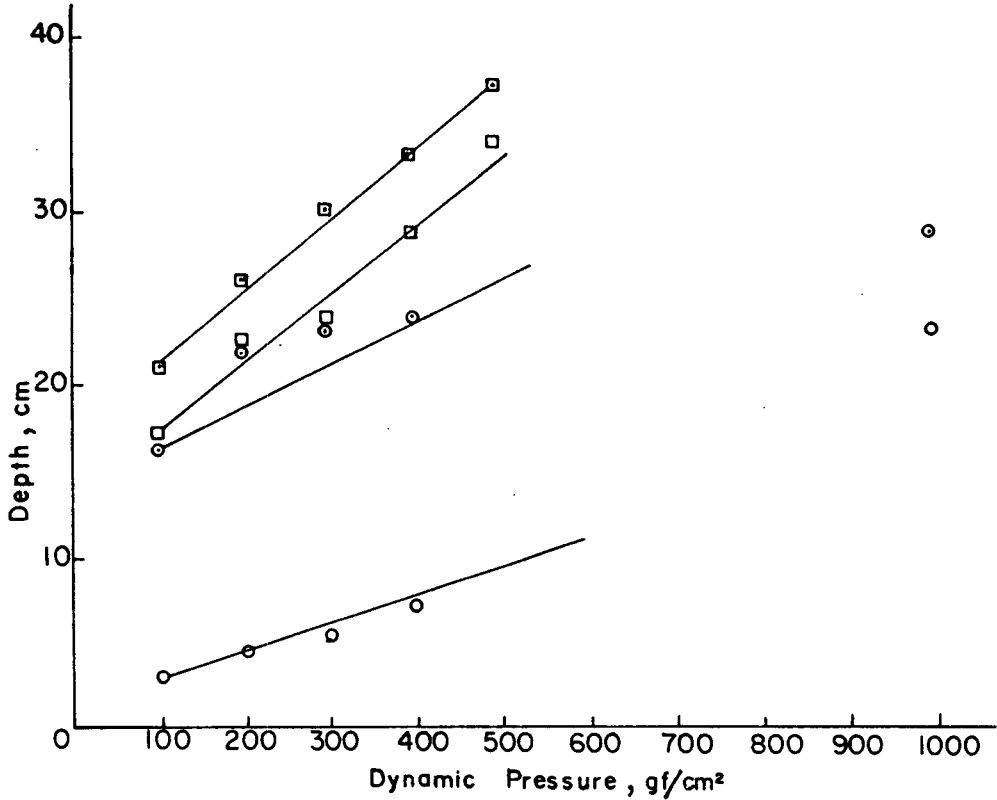


Fig. 7. The relation between excavated depth and dynamic pressure.
(Nozzle Dia., ○=4mm, ⊙=6mm, □=8mm, ◻=10mm)

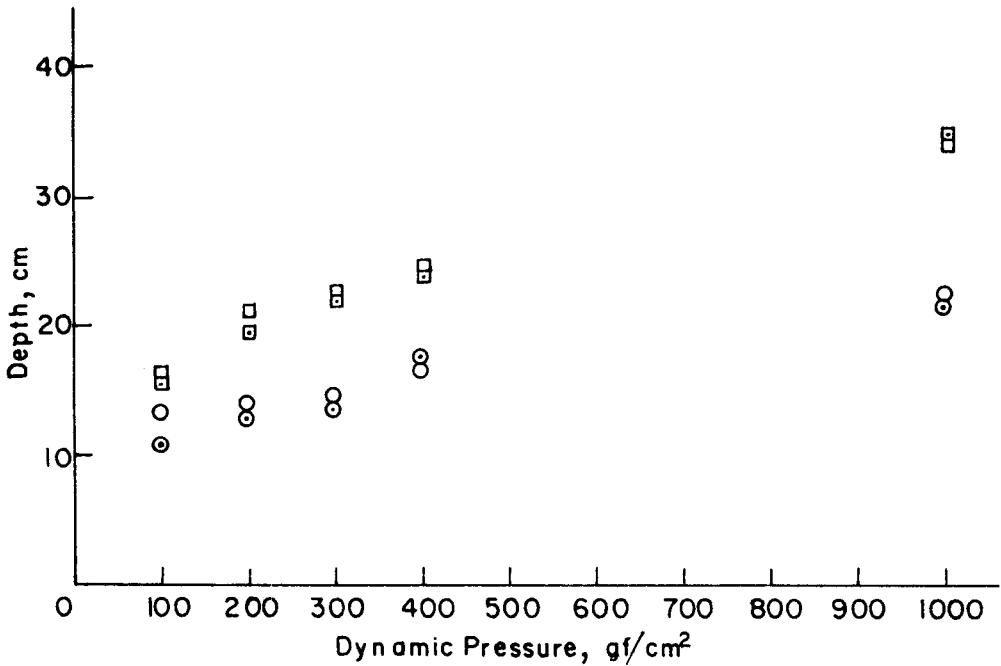


Fig. 8. The comparison excavated depth of the circle nozzle and the half circle nozzle.
(○=4mm circle nozzle, ⊙=4mm half circle nozzle
□=6mm circle nozzle, ◻=6mm half circle nozzle)

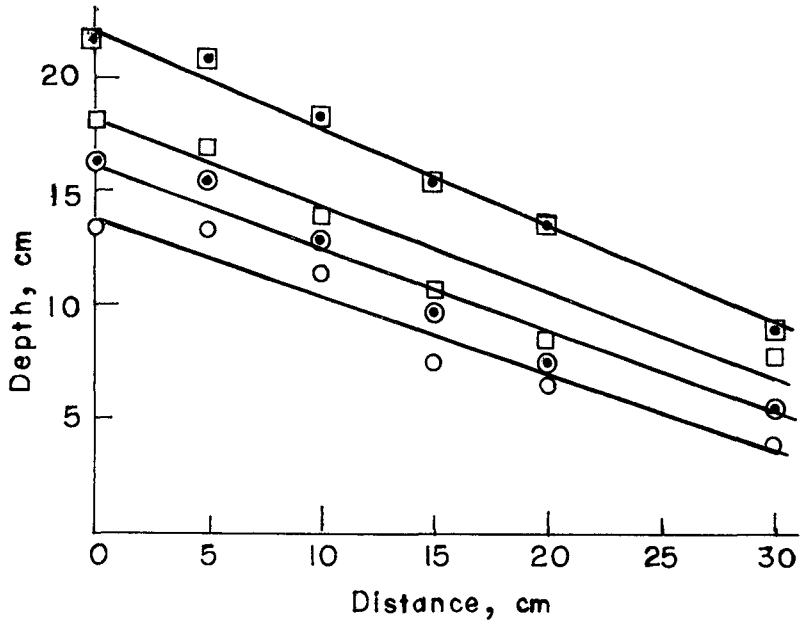


Fig. 9. The relation between excavated depth and distance.
(Nozzle Dia., ○=4mm, ⊙=6mm, □=8mm, ◻=10mm)

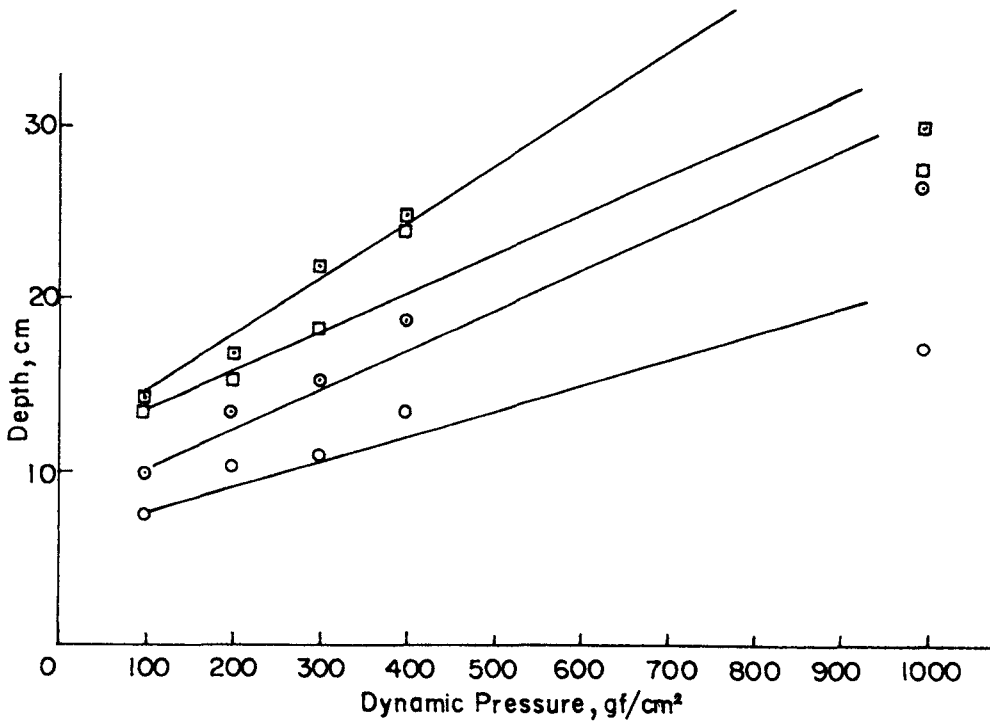


Fig. 10. The relation between excavated depth and dynamic pressure.
(Nozzle Dia., ○=4mm, ⊙=6mm, □=8mm, ◻=10mm)

Table 4. The correlation equation between excavated depth and dynamic pressure for each nozzle diameter

D(mm)	l(cm)	L _I =a×H+b			L _{II} =a×H+b		
		a	b	Coef. R	a	b	Coef. R
4	0	0.005	13.591	0.987	0.010	8.304	0.976
	5	0.004	12.699	0.982	0.008	6.936	0.979
	10	0.004	11.130	0.985	0.008	4.892	0.979
	15	0.005	8.584	0.971	0.007	3.728	0.996
	20	0.004	7.267	0.974	0.005	3.064	0.976
	30	0.003	5.575	0.986	0.005	1.260	0.963
6	0	0.008	19.310	0.992	0.018	9.632	0.972
	5	0.006	17.398	0.906	0.018	5.644	0.988
	10	0.007	14.373	0.928	0.014	5.368	0.979
	15	0.007	11.911	0.916	0.134	4.060	0.983
	20	0.006	10.088	0.878	0.012	3.884	0.976
	30	0.006	6.886	0.883	0.008	2.908	0.977
8	0	0.039	13.700	0.990	0.037	8.470	0.990
	5	0.034	11.800	0.971	0.028	7.230	0.957
	10	0.034	9.000	0.968	0.127	5.890	0.951
	15	0.033	7.300	0.914	0.023	5.430	0.976
	20	0.030	5.000	0.943	0.018	5.370	0.982
	30	0.028	4.000	0.982	0.017	4.300	0.995
10	0	0.039	17.700	0.996	0.051	5.630	0.997
	5	0.035	15.900	0.997	0.043	4.380	0.996
	10	0.033	13.500	0.980	0.043	2.540	0.993
	15	0.031	11.500	0.986	0.036	2.420	0.995
	20	0.028	9.200	0.995	0.032	1.440	0.997
	30	0.030	5.000	0.977	0.027	1.440	0.997

(D: Nozzle dia., l: Distance, L: Excavated depth, cm H: Dynamic pressure, gf/cm²)

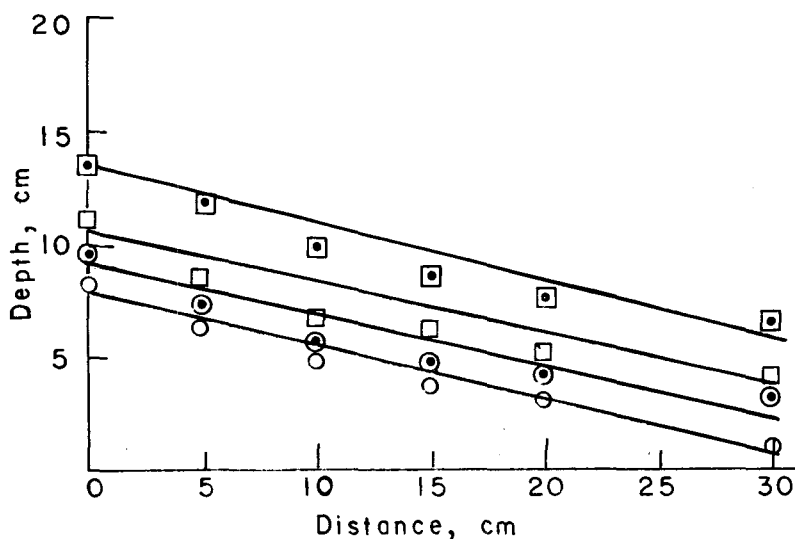


Fig. 11. The relation between excavated depth and distance.
(Nozzle Dia., ○=4mm, ⊙=6mm, □=8mm, ◻=10mm)

Table 5. The correlation equation between excavated depth and distance

D(mm)	H(gf/cm ²)	L _I =a×l+b			L _{II} =a×l+b		
		a	b	Coef. R	a	b	Coef. R
4	100	-0.297	8.417	0.985	-0.295	12.770	0.956
	200	-0.264	9.456	0.982	-0.286	14.517	0.982
	300	-0.309	11.178	0.978	-0.284	15.285	0.001
	400	-0.313	12.459	0.962	-0.321	17.115	0.991
	1000	-0.383	16.863	0.973	-0.364	23.690	0.987
6	100	-0.198	7.983	0.981	-0.430	16.235	0.989
	200	-0.281	12.085	0.943	-0.426	20.359	0.963
	300	-0.289	14.113	0.924	-0.438	22.849	0.998
	400	-0.389	17.141	0.955	-0.444	24.092	0.998
	1000	-0.544	24.095	0.984	-0.513	27.509	0.991
8	100	-0.237	12.451	0.975	-0.409	22.134	0.990
	200	-0.213	13.816	0.944	-0.364	23.187	0.983
	300	-0.300	16.508	0.865	-0.417	26.743	0.931
	400	-0.405	21.757	0.926	-0.423	26.985	0.945
	1000	-0.464	25.328	0.963	-0.587	32.067	0.972
10	100	-0.209	9.259	0.945	-0.467	21.065	0.999
	200	-0.316	15.632	0.972	-0.472	25.306	0.991
	300	-0.373	19.548	0.940	-0.516	29.825	0.988
	400	-0.436	23.789	0.976	-0.518	32.251	0.983
	1000	-0.536	29.728	0.980	-0.601	36.026	0.990

(D: Nozzle dia., mm, H: Dynamic pressure, cm, L: Excavated depth, cm, l: Distance, cm)

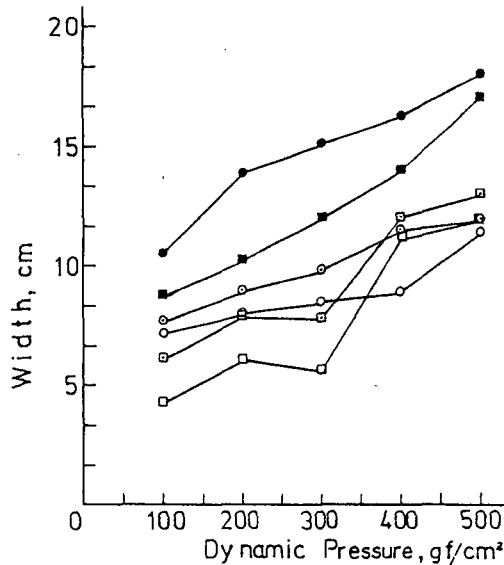


Fig. 12. The relation between excavated width and dynamic pressure. (Ground I, II, Nozzle Dia.: 8mm)

- : l=0, Ground I
- : l=20, Ground I
- ⊙: l=10, Ground I
- : l=0, Ground II
- ⊠: l=10, Ground II
- : l=20, Ground II

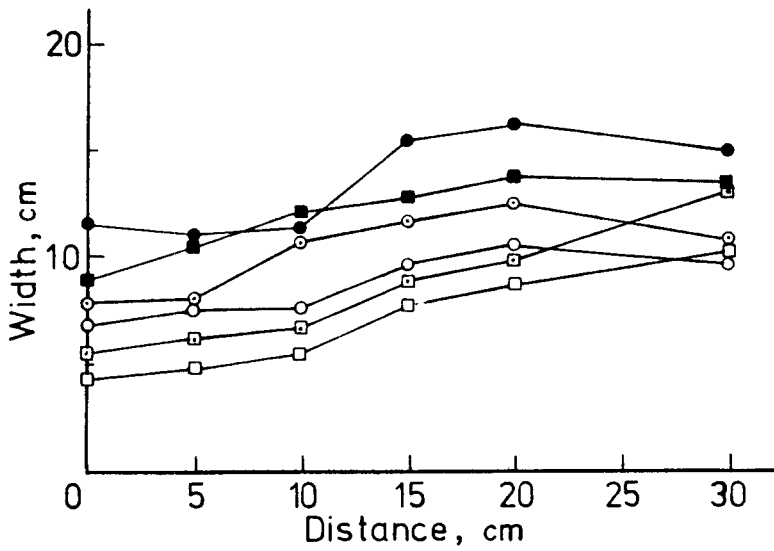


Fig. 13. The relation between excavated width and distance.
 (Ground I, II, Nozzle Dia.: 8mm)
 ●: H=400, Ground I ■: H=400, Ground II
 ○: H=200, Ground I ○: H=200, Ground II
 □: H=100, Ground I □: H=100, Ground II

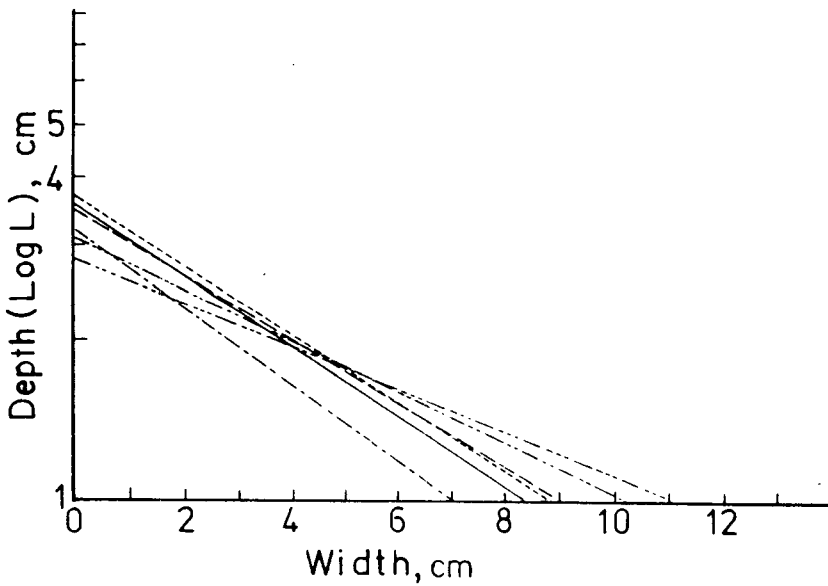


Fig. 14. The excavated form by the jet stream off each distance.
 —: l=0, : l=5, - - - -: l=10,
 - · - · -: l=15, - - - - -: l=20, - - - - -: l=30(cm)

단, $4 \leq D \leq 10(\text{cm})$, $D_0 = 4(\text{cm})$

$\bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{a}_3, \bar{a}_4$ 의 값은 각각 0.0112, -0.4299, 0.027, -0.3375가 되고 $l=0$, $H=100$ 일때의 $l=10\text{cm}$, $H=200(\text{gf}/\text{m}^2)$ 일때 K_I, K_{II} 값은 평균하여 구하면 $K_I=11.78$, $K_{II}=6.39$ 이다.

따라서 저질 I, II에 대한 굴삭깊이는

$$L_I = [0.011(H/\gamma - 100) - 0.43 \cdot l + 11.78] \cdot D/4$$

$$L_{II} = [0.027(H/\gamma - 100) - 0.34 \cdot l + 6.39] \cdot D/4$$

로 나타낼 수 있다.

분사류에 의해 굴삭된 지점을 임의의 각 동압, 노즐높이, 노즐구경에서 굴삭깊이 L (Y 좌표)에 대한 굴삭폭 W (X 좌표)을 기록하고 각 지점마다 지수회귀분석을 하면

$$L = a \cdot b^{1/W} \quad a, b; \text{상수}$$

의 그래프로 굴삭형상을 정의할 수 있다.

각 굴삭깊이의 방정식을 각 노즐높이에 관해 선대칭하여 구한 굴삭깊이에 관한 굴삭폭의 방정식은 다음과 같다.

$$l=0\text{cm} \quad W = \frac{\text{Log } L}{2.28}$$

$$l=5\text{cm} \quad W = \frac{\text{Log } L}{2.33}$$

$$l=10\text{cm} \quad W = \frac{\text{Log } L}{2.56}$$

$$l=15\text{cm} \quad W = \frac{\text{Log } L}{2.98}$$

$$l=20\text{cm} \quad W = \frac{\text{Log } L}{3.26}$$

$$l=30\text{cm} \quad W = \frac{\text{Log } L}{3.88}$$

굴삭형상은 분사노즐의 높이에 따라 다르게 나타나지만 노즐구경, 노즐동압에 따른 굴삭깊이에 따라서도 달라진다. 이에 대한 연구고찰은 앞으로 더 필요하리라 생각된다.

요 약

본 연구는 유체분사식형망의 분사류의 저질에 대한 굴삭성능을 파악하고자 노즐의 크기별로 원형과 반원형노즐을 제작하여 수조실험을 통해서 노즐끝에서의 동압, 노즐과 판과의 거리, 노즐의 구경, 저질 등의 변화에 따른 저질의 굴삭형상변화를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 분사류의 운동량은 동압을 $100 \sim 500 \text{gf}/\text{cm}^2$ 로 변화시킴에 따라 4mm 원형노즐에서 $43 \sim 114 \text{gf}$, 6mm 에서 $52 \sim 227 \text{gf}$, 8mm 에서 $114 \sim 506 \text{gf}$, 10mm 에서 $137 \sim 769 \text{gf}$ 로 각각 증가하였으나, 50cm 이내의 거리에서는 거리에 대한 운동량의 변화는 거의 없

었다.

2. 굴삭깊이는 노즐의 구경과 동압이 커짐에 따라, 그리고 노즐높이가 낮아짐에 따라 일정한 기울기로 직선적으로 증가하였으며, 저질 I과 II에 대해 다음과 같은 관계식을 얻었다.

$$L_I = [0.011(H/\gamma - 100) - 0.43 \cdot l + 11.78] \cdot D/4$$

$$L_{II} = [0.027(H/\gamma - 100) - 0.34 \cdot l + 6.39] \cdot D/4$$

단, L_I, L_{II} ; 저질 I, II에 대한 굴삭깊이

H : 노즐동압(gf/cm^2)

γ : 물의 단위체적당 중량($1\text{gf}/\text{cm}^3$)

l : 노즐높이(cm)

D : 노즐구경(mm)

문 헌

- Cooper R. A. and K. J. Pecci. 1981. The performance and Environmental Effects of a Hydraulic Calm Dredge. Mar. Fish. Rev., 43(9), 14~22.
- Kestin J. 1968. Boundary-Layer Theory. Mc-Hill Book Co. pp. 170~175.
- Macphall J. S. 1961. A Hydraulic escalator Shellfish Harvester. Fish. Res. Board.
- Smolowita R. J. and V. E. Nulk. 1982. The Design of an Electrohydraulic Dredge for Calm Surveys. Mar. Fish. Rev., 44(4), 1~18.
- Standley M. L. and P. S. Parker. 1967. Development of a Submersible Pumping System for a Hydraulic Surf Calm Dredge. Com. Fish. Rev., 29(6), 50~55.
- 金英默. 1983. 水理·水文學, 省安堂, pp. 190~198.
- 金永振. 1979. 펌프와 水車, 大光書林, pp. 65~69.
- 北海道新聞社出版部. 1986. 漁貝漁法設計 第4卷, 北海道新聞社.
- 李源平. 1979. 工作測定·機械工學시리즈, 文運堂, pp. 155~158.
- 李鍾純. 1977. 新編流體力學, 東明社, pp. 165~166.
- 日本土木學會. 1980. 土木工學ハンドブック 中卷, 技報堂, 1583~1605.
- 土壤物理研究會. 1979. 土の物理學, 森北出版, pp. 121~138.
- 解體工法研究會. 1979. 解體工法と積算, 經濟調查會出版部, 82~84.

1989년 6월 8일 접수

1989년 8월 7일 수리