

技術資料

모래-점토-충진성-수분 관리도와 활용

김 봉 완\*, 김 석 원\*\*

Sand-Clay-Compactibility-Moisture Control Graphs<sup>6)</sup>

B. W. Kim\*, S. W. Kim\*\*

생형조형법을 최대로 활용하기 위하여 충진성의 목표치를 달성하려는 수분관리는 여러 주물공장의 표준작업이 되었다. 이외에도, 주물사는 주형작업을 위하여 적절한 압축강도를 가질 필요가 있다. 충진성과 생형강도의 판 관리수분과의 관계는, 혼련기, 온도, 혼련시간, 통풍처리 및 조형전의 취급과 같은 처리조건, 점토의 성상과 함량 및 첨가제와 관계되는 주물사 배합조성에 달려 있다. 본자료는 충분히 처리된 생형사의 수분, 압축강도 및 충진성을 연관시키는 계산식과 계산도표를 설명하려는 것이다.

충분히 처리된 주물사는, 여러가지 주물사특성을 조합할 수 있는 최대량의 수분을 점토분이 함유한 것이다. 실제적으로 강조되어야 할 것은 충진성 관리이므로, 충분히 처리된 주물사는 목표의 충진성이 최대치의 수분흡수와 함께 얻어질 수 있는 것이며, 점토와 첨가제들은 이러한 충진성을 얻기 위하여 필요하다.

주물사가 충분히 처리되지 못하면, 보다 적은 수분이 필요하게 된다. 다른 조건에서는 더 많은 수분이 필요하다. 충분히 처리된 경우 주어진 충진성을 얻기 위한 수분필요량은 실제의 수분관리 수준과 대비되는 참고수분이다. 유사한 비교를 생형압축강도에 대하여 행하고 있다. 그러나, 사처리 장치에 장치된 자동의 충진성 측정관리 장치는 목표의 충진성을 얻기 위하여 필요한 수분량은 어느 값이든 채용한다. 그래서, 수분량이 잘못사용된 첨가제가 될 수 있다.

따라서 이 자료는 수분-충진성 관리는 물론 기대되는 관련생형강도에 대한 기술적인 기초를 설명하여 주는 것이다.

도표의 기초

수분-충진성-점토 도표는 광범위한 주물사에 대한 연구에서 얻어진 data에 기초한다.<sup>1-4)</sup> 표 1은 NaB/CaB/seaceal 을 1.5/1.5/1.0의 비율 또는 3/1의 전점토와 seacoal의 비율로 된 충분히 처리된 혼련사에 대한 data를 열거하였다. 수분, 충진성 및 생형강도의 여러 특성을 표 1에 있는 각각의 배합에 대하여 결정되었다.

주물사와 약간의 수분을 혼련기에 첨가되었다. 표 1행에 ADC라 하는 구입상태의 점토를 첨가하고, 열거된 수준까지 충진성과 압축강도를 올리기 위하여 여분의 수분을 첨가하였다. 예를들면, seacoal을 가한 10% 점토-90% 모래의 배합을 수분과 혼련하여 3.63%의 최종수분에서 39.8 PSI의 압축강도와 40%의 충진성을 얻었다. (표 1) 이 목적은 표면사에서 처럼 수분이 첨가된 구입상태의 점토(%ADC)와 모래의 배합으로부터 얻어진 특성치를 결정하기 위한 것이다. 그러나, 구입상태의 점토는 100°C에서 측정할때 8%의 수분을 포함하였다.

이 배합에서는 새로운 건조점토(%NDC)의 함량은 %ADC-% 모래 배합보다 낮다. 신건조사의 함량, %NDC는 다음식과 같이 계산한다.

%NDC + 100(%ADC x 0.92) / (100 - 0.08% ADC)

각각의 %ADC 배합에 대한 %NDC는 표 1의 5행에 기록되었다. 예를들면, 10% ADC배합은 실제로 9.274%의 NDC를 포함하고, 3.63%의 수분(2행)과 함께 40%의 충진성(3행)에서 8.937%의 NDC를 함유한다. 표 1은 시험된 모든 결과의 조합

\* 중소기업진흥공단

\*\*전북대학교

을 설명하는 것이다.

표 1과 문헌<sup>1-4)</sup>에 보고된 배합의 다수가 methylene blue 점토함량에 대하여 시험되었다.

$$\%MB = (4.52 \times \%ADC + 4.63) / 6$$

위식의 분모 6은 methylene blue의 인자가 1% 점토에 대하여 0.6ml인것을 나타낸다. 위식을 앞에 설명한 수식과 조합정리하면 %ADC, %NDC 및 %MB의 관계를 식 1-4로 나타낼 수 있다.

$$\%NDC = 1.2358 \times \%MB - 0.9894 \quad (1)$$

$$\%ADC = 1.3274 \times \%MB - 1.0241 \quad (2)$$

$$\%NDC = 0.931 \times \%ADC - 0.036 \quad (3)$$

$$\%ADC = (\%NDC + 0.036) / 0.931 \quad (4)$$

이들 수식은 이미 보고된 data<sup>1-4)</sup>를 전환하여 %수분, %충진성 및 생형압축강도를 주물사 배합내의 %NDC, %MB 점토와 연결시키는 도표를 작성

표 1. Mixtures and properties for sand bonded with sodium and calcium bentonite in 1:1 ratio. Seacoal present in ratio 1 part to 3 parts total clay

1 %ADC (%NDC)	2 Moisture %	3 Comp %	4 GCS psi	5 % NDC	6 Calculated Moist. %	7 Test Moist Minus Calc. Moist
5 (4.619)	1.6	30	27.4	4.545	1.56	-.04
	1.68	35	25.8	4.541	1.61	-.07
	1.73	40	24.8	4.539	1.66	-.07
	1.78	45	23.9	4.537	1.71	-.07
	1.83	50	23.2	4.535	1.77	-.06
	1.88	55	22.6	4.532	1.91	+.03
	1.98	60	21.2	4.528	2.04	+.06
6 (5.547)	1.94	30	34.5	5.439	1.97	+.03
	2.01	35	32.1	5.436	2.02	+.01
	2.08	40	30.3	5.432	2.09	+.01
	2.16	45	28.8	5.427	2.15	-.01
	2.23	50	27.5	5.423	2.22	-.01
	2.31	55	26.2	5.419	2.38	+.07
	2.44	60	24.6	5.412	2.54	+.1
7 (6.476)	2.32	30	40.3	6.325	2.37	+.05
	2.40	35	37.7	6.321	2.44	+.04
	2.48	40	35.2	6.315	2.51	+.03
	2.58	45	32.8	6.329	2.58	0
	2.67	50	30.9	6.323	2.66	-.07
	2.50	55	24.5	6.295	2.45	+.05
	2.99	60	26.2	6.282	3.03	+.04
8 (7.407)	2.75	30	44.7	7.203	2.78	+.03
	2.84	35	41.5	7.197	2.85	+.02
	2.93	40	38.1	7.19	2.94	+.01
	3.05	45	35	7.131	3.01	-.04
	3.15	50	32.3	7.17	3.1	-.25
	3.30	55	29.3	7.123	3.32	-.22
	3.50	60	27	7.151	3.52	-.22
9 (3.32)	3.13	30	26.3	3.075	3.17	-.01
	3.28	35	23.1	3.276	3.25	-.03
	3.37	40	39.2	3.259	3.35	-.22

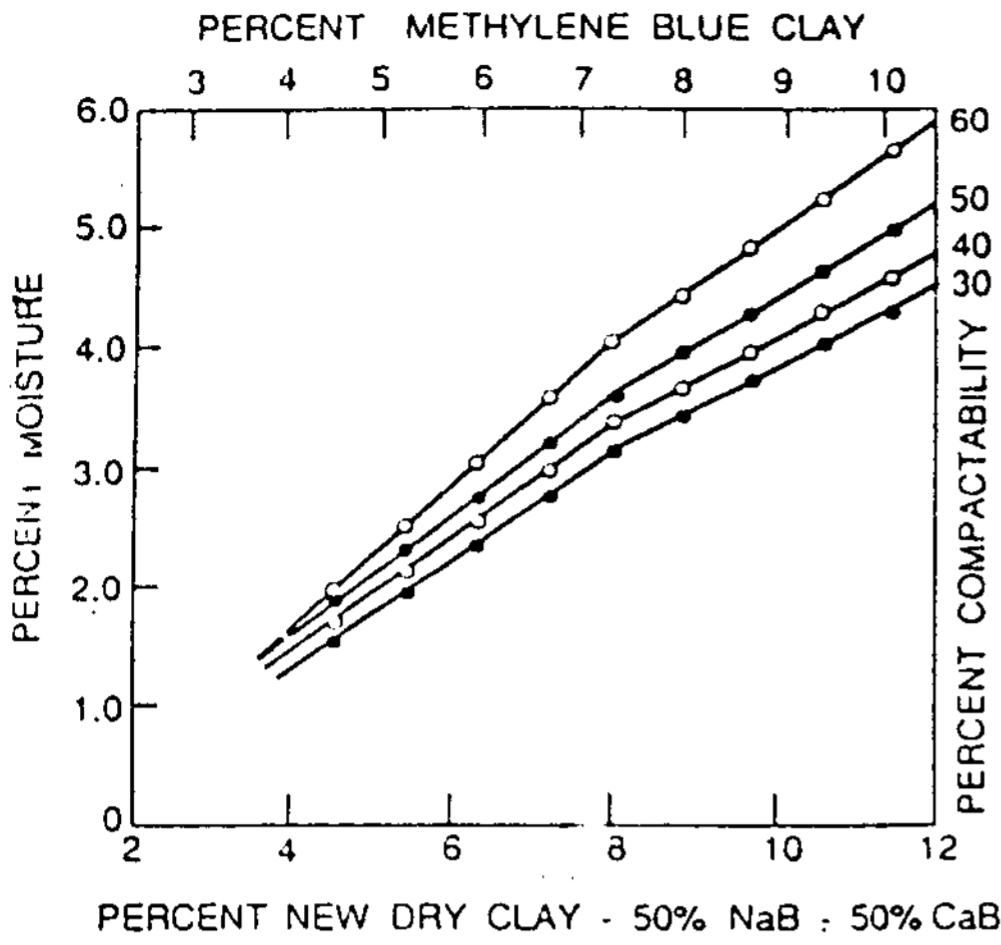


그림 1. Relationship of percent moisture and compactibility in green sand to percent new dry clay comprised of 50% Na bentonite and 50% Ca bentonite and seacoal additive in clay seacoal ratio of 3:1

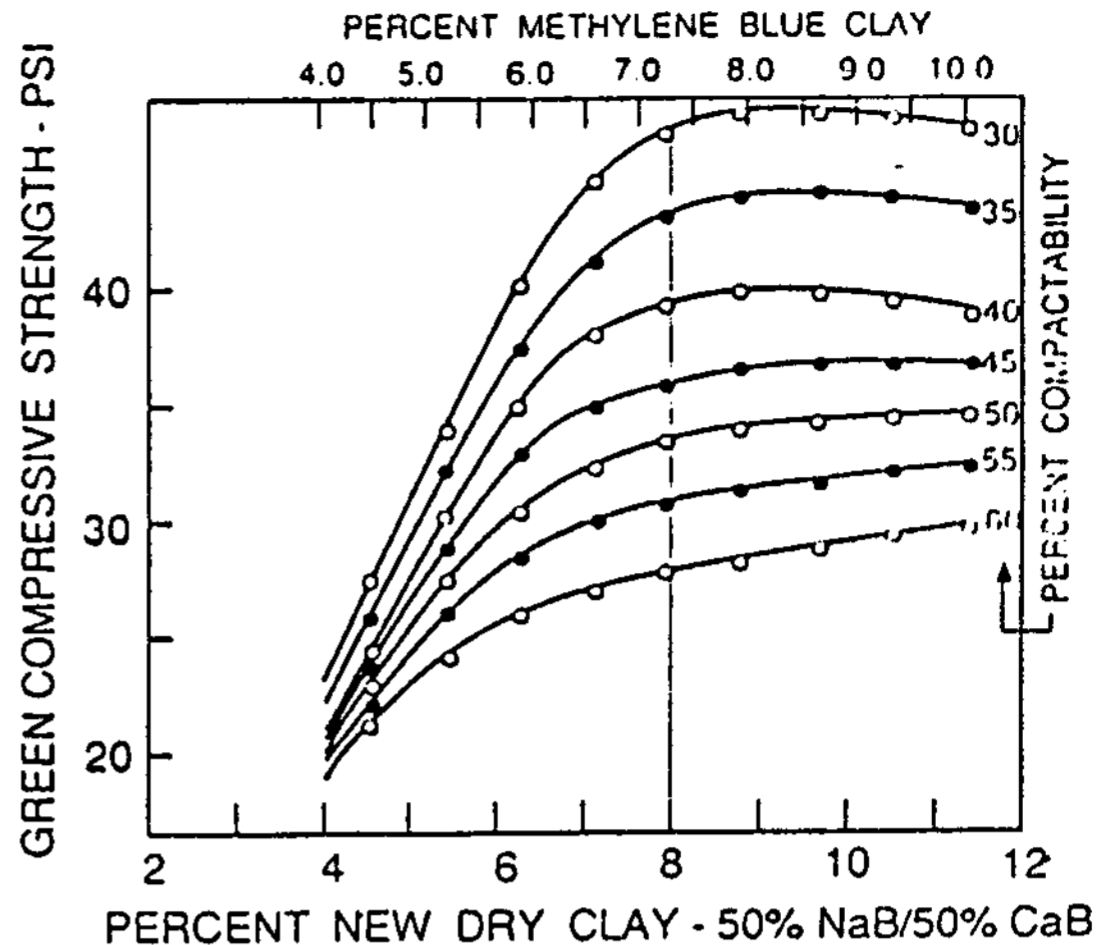


그림 4. Relationship of green compressive strength and percent new dry clay at constant compactibility for sand mixtures of 그림 2 and 3. 표 1.

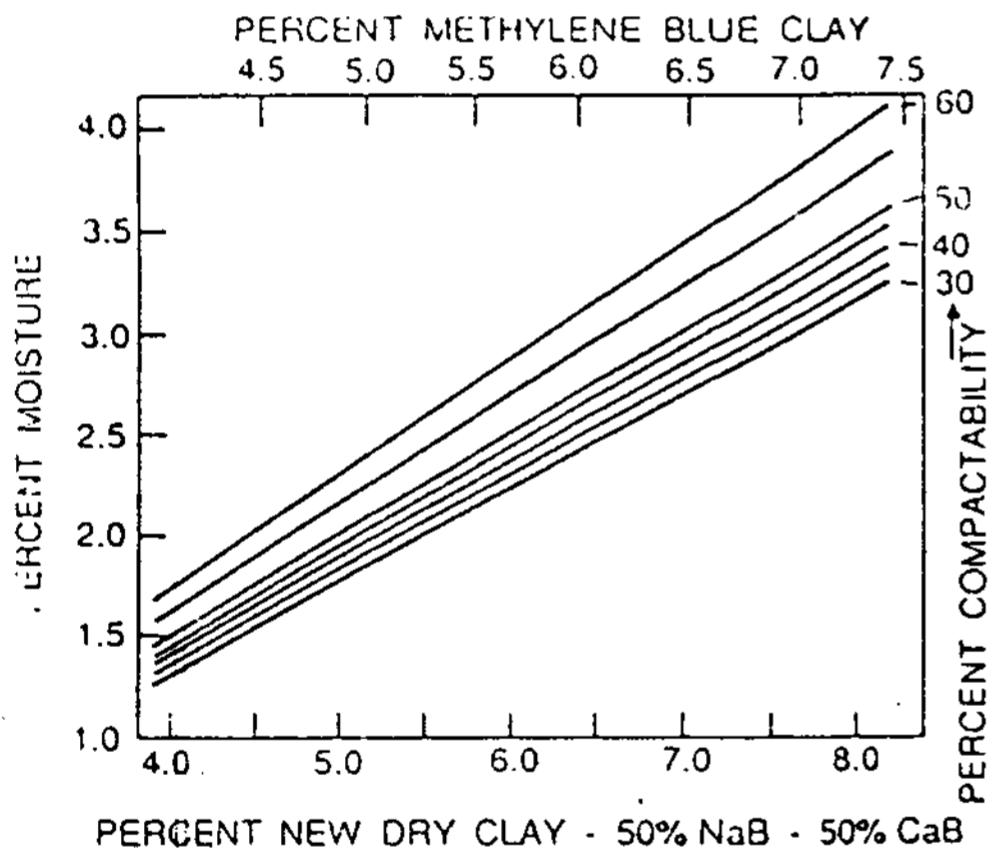


그림 2. Same as 그림 1 in the range of 4-8% new dry clay

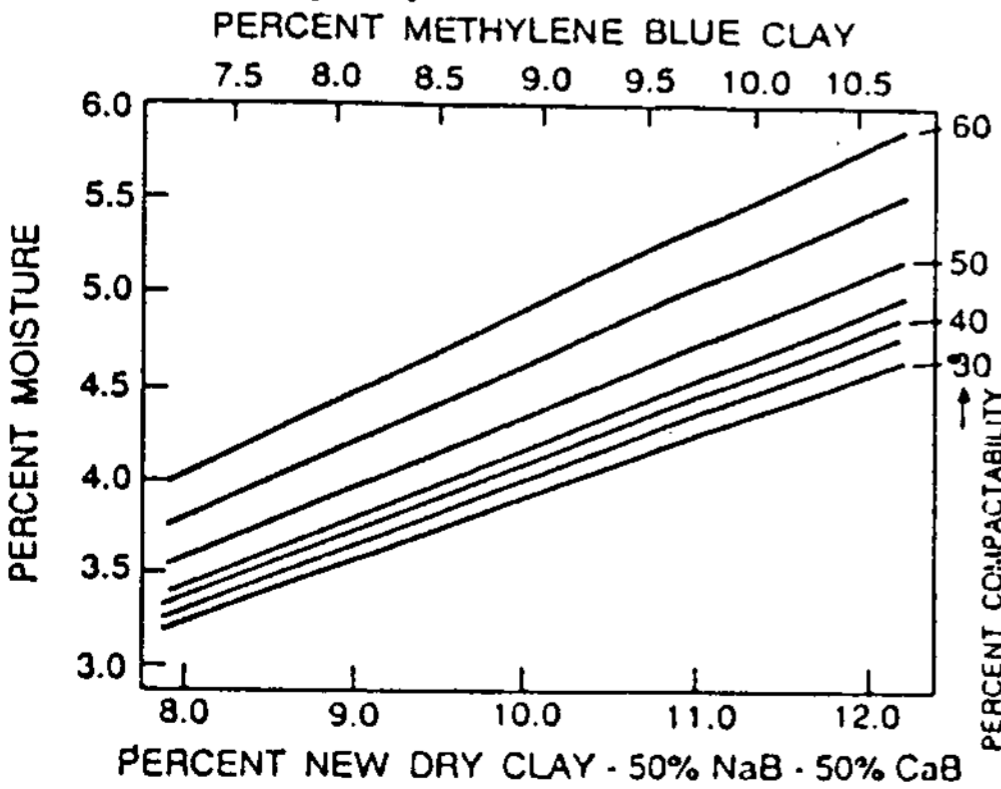


그림 3. Same as 그림 1 in the range of 8-12% new dry clay.

하는데 쓰인다.

%NDC 와 %ADC는 %MB의 시험값으로부터 계산할 수 있으므로 식 1과 식2는 특히 중요하다. 이는 %MB 시험치를 회수사 배합내의 %NDC와 %ADC의 결정 수단으로 만든다.

### Sodium Bentonite / Calcium Bentonite Graphs

50% Ca-bentonite + 50% Na-bentonite 로 혼합된 점토와 seacoal 을 3:1 비율로 배합한 60~65 GFN주물사 배합에 대한 도표를 우선 검토하기로 한다.

일정 퍼센트의 충진성에서 %수분 대 %NDC을 연결하여 충진성도표를 작성한다. 그림 1은 표 1의 data에 대한 도표를 보여준다. %의 MB는 식 1에 의하여 관계지워진다. 그림은 충진성이 일정할 때 점토가 8%까지 증가하면서 수분과 %NDC는 직선의 관계를 가지는 것을 보여주며, 낮은 경사로 굴절하고 다시 직선관계를 가진다.

Data의 분석은 충진성이 일정할 때 %수분과 %NDC의 상호관계에 대하여 부록 (Appendix)에 열거한 경험적 방정식의 개발을 가능케 한다. 이들 방정식의 개발은 부록에 기술되었다.

그림 1에 있는 도표는 8%의 NDC 점토수준에서 분리하여, 이해의 편의를 위하여 %수분과 NDC는 금을 확대한 그림 2와 3의 두개의 도표로 나타내었다.

도표는 주어진 충전성에서 배합사가 요구하는 최대의 수분흡수력을 나타낸다. 예를들면, 7.3% MB 점토 또는 8.0% NDC 일때, 40% 충전성에서 충분히 처리된 주물사는, 3.34%의 수분을 흡수하는 것을 그림2로부터 알 수 있다. 이러한 필요수분량은 충분히 처리 되지 못한 주물사에서 사용된 실제수분량과 수분흡수지수에 의하여 비교될 수 있다. 이 지수는  $100 \times (\text{시험에 의한 수분량} / \text{그림 2 또는 3으로 부터의 필요수분흡수량})$ 으로 정의 된다. :  $MI = MT / MR \times 100$

수분지수 MI이 100%이하일때, 측정된 충전성을 얻기 위하여는 수분부족이 있게된다. 수분부족의 이유는 문헌<sup>3-4)</sup>에 기술되었다. MI이 100%이상일 때는 가열된 주물사가 존재하거나, 점토이외의 물질이 추가의 수분을 요구하는 것이다.

그림 2와 3은 역시 충전성을 높여주는 %NDC 점토를 측정하기 위하여 사용할 수 있다. 예를들어, 2.8%의 수분이 40%의 충전성을 나타낸다고 가정하자. 이러한 수분흡수량은 충분히 처리된 주물사에서 6.9% NDC 일 때 발생하는 것을 그림 2는 나타낸다. 그러나, 시험에서 7.3% %NDC로 나눈 값으로 정의한다. :

$$CUI = \frac{\%NDC(\text{그림 2 또는 3})}{\%NDC(MB)} \times 100$$

CUI가 100%이하 이면, 시험으로부터 얻어진 충전성과 수분을 얻기 위하여는 실제 존재하는 것보다 더욱 적은 점토가 필요하다는 것을 의미한다. 부록의 계산식은 이들 값을 그림 2와 3에서 읽기 보다는 차라리 계산할 수 있는 점에 유의할 필요가 있다.

그림 2와 3의 수분-충진성-점토 도표로 부터 더욱 진전하면, 그 관계를 일정한 충전성에서의 생형압축강도 대 %NDC의 관계까지 확대할 수 있다. 표 1의 data를, 일정한 충전성에서의 생형강도 대 %NDC의 관계로서 도표로 나타내었다(그림 4). NDC가 약 8%에 이르기까지, 일정한 충전성에서 강도는 증가하는 것을 도표의 곡선은 보여주고 있다. 8%이상의 NDC, (~7.3 MB)에서는 강도변화는 미미하고 배합사는 점토로 포화되었다고 말할 수 있다.

그림 4는 몇가지 용도가 있다. 특정 배합량의 NDC와 일정한 충전성에서 생형압축강도의 data 표를 만드는데 쓰일 수 있다(표 2). 일정한 충전성에서 요구되는 수분의 양은 각각의 %NDC값에 대하여 그림 2와 3에서 읽을 수 있으며, 표 2에 열거

되었다. 일정한 충전성에서의 생형압축강도와 수분의 양은 그림 5에 도표로 그렸다. 그림 5의 곡선상의 점표시는 밑에서 위로 차례로 일정한 충전성값을 나타내는 것으로, 연결되어 동일 충전성을 보여준다. 만일 이런식으로 도표화 된다면, %NDC 점토 대신 %ADC점토에 대하여 이미 발표된 바와 같은<sup>3,4)</sup> 도표로 나타낼 수 있다.

그림 4와 5는 그림6에 보여준 잘 알려져 있는 주물사-점토-수분관리도와 직접적으로 관련되어 있다.<sup>5)</sup> 그림 6의 좌편의 "유효점토"표시선은 한계값인 8%NDC까지의 생형압축강도와 충전성의 시험치로 나타낸 점토를 가리키는 것이다. 그림 4는 그림 6의 8%한계와 같은 내용을 보여준다. 그림 6 오른쪽 변의 가용점토는 생형압축강도와 수분함량으로부터 읽을 수 있으며, 같은 정보를 그림 5에 서술하였다. 그래서 그림4와 5는 그림 6과 같은 내용의 정보를 제공하는 듯이 보이나, 8% NDC 한계를 넘어서까지 그 내용을 연장한 것이다. 그래서 그림 4와 5의 곡선은 그림 6의 곡선보다는 높은 수준까지 옮겨졌으며, 이는 모래의 처리가 주물사 특성의 변화가 없는 점까지 계속되었기 때문이다. 이들 그림 4와 5는 주어진 충전성에 대하여 수분함량과 NDC 점토에 관련된 그림 2와 3의 특징을 포함하고 있다. 이러한 특징은 그림 6에서는 이용될 수 없다. 그림 6의 sand control graph는 그림 2-5를 포함한다.

그림 1-5의 도표는 첨가 점토로서 특히 Ca-bentonite와 Na-bentonite를 1:1로 한 혼합물에 적용된다. 어떤 주어진 충전성을 위하여 필요한 수분함량은 100% Ca-bentonite 또는 100% Na-Bentonite를 배합한 주물사에 대하여는 아래에서 고려하기로 한다.

### Sodium

Na-Bentonite 와 Seacoal을 3:1의 NaB /SC 비율로 배합된 충분히 처리된 주물사에서 %NDC에 대한 수분 및 충전성의 관계를 그림 7과 8에 설명되었으며, 이들은 그림 2 및 3과 같다.

그림 7과 8의 곡선에 대한 방정식은 부록에 설명되었다. data는 어디서나 얻을 수 있으므로 여기에는 기재되지 않았다. <sup>1-4)</sup>

CaB /NaB graph인 그림 1에서 처럼 8%NBC에서 곡선의 굴절이 있다. 같은 방법으로 충전성이 일정할 때의 생형압축강도와 %NDC의 관계를 그

표 2. Green compressive strength, percent NDC, and percent moisture at constant percent compactibility for 50% NaB and 50% CaB clay and seacoal at 3:1 ratio

% NDC	4		5		6		7		8	
% Camp	GCS PSX	% MOIST	GCS PST	% MOIST	GCS PSI	% MOIST	GCS PSL	% MOIST	GCS PSL	% MOIST
30	23.0	1.31	31.0	1.76	38.2	2.22	43.8	2.68	46.6	3.14
35	22.0	1.46	29.2	1.84	35.8	2.3	40.6	2.77	43.0	3.24
40	20.9	1.40	27.7	1.9	33.5	2.37	37.5	2.85	39.1	3.34
45	20.4	1.44	26.5	1.95	31.5	2.44	34.6	2.94	35.9	3.44
50	20.	1.50	25.5	2.0	29.8	2.51	32.3	3.01	33.3	3.52
55	19.4	1.62	24.5	2.15	27.9	2.63	29.5	3.22	30.4	3.76
60	18.5	1.72	23.4	2.28	25.6	2.86	26.9	3.43	27.6	4.0

% NDC	9		10		11		12	
% CAMP	GCS PSI	% MOIST	GCS PST	% MOIST	GCS PSI	% MOIST	GCS PSL	% MOIST
30	47.6	3.48	47.3	3.83	46.8	4.17	46.0	4.52
35	43.7	3.58	43.6	3.93	43.2	4.29	42.5	4.65
40	39.8	3.67	39.7	4.03	39.0	4.40	38.0	4.77
45	36.3	3.77	36.6	4.14	36.4	4.52	35.7	4.9
50	33.8	3.91	34	4.30	34.1	4.69	34.1	5.09
55	31.0	4.17	31.4	4.60	31.6	5.01	31.8	5.44
60	28.2	4.44	28.8	4.88	29.1	5.34	29.4	5.79

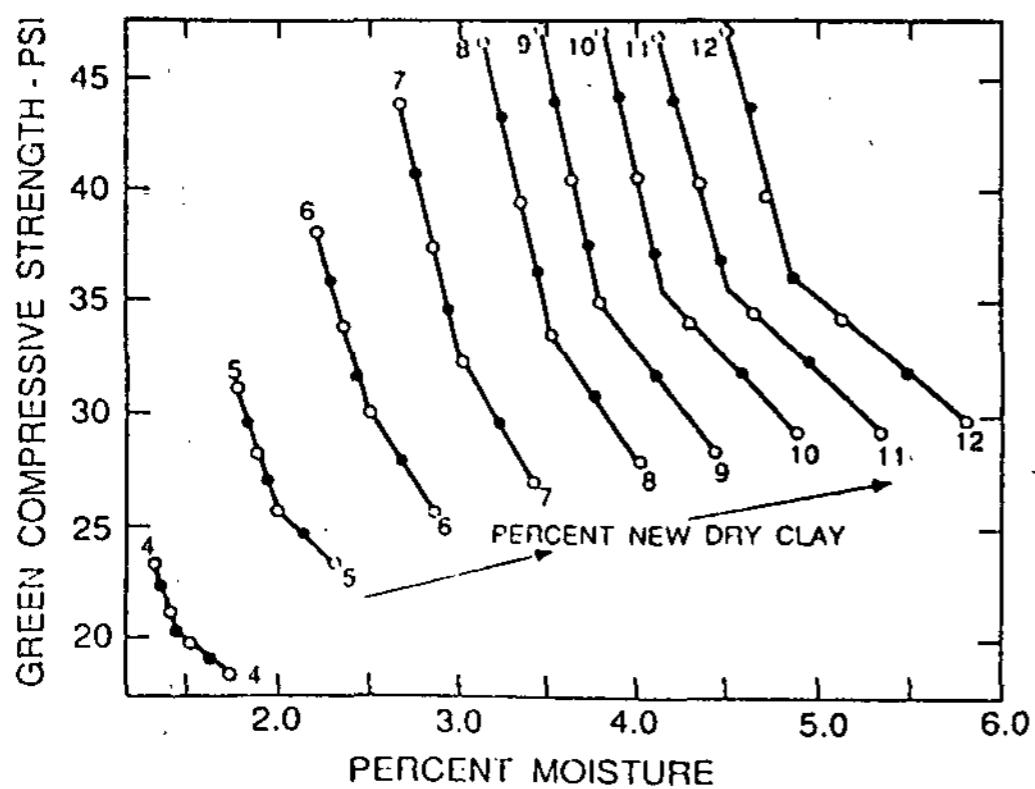


그림 5. Relationship of green compressive strength and percent moisture for sand mixtures of 그림 1. 표 1 and 2. Data points are for 30, 35, 40, 45, 50, 55, and 60% compactibility

림 9와 같이 얻었고, 역시 일정한 충진성에서의 생형압축강도와 수분의 관계는 그림 10과 같다.

그림 7~10은 50% NaB-50% CaB 혼합점토에 대한 그림 2-5의 NaB 점토 상당량을 나타낸다. 그들은 같은 방법으로 설명되었다.

### Ca-Bentonite Graph

Ca bentonite 와 Seacoal을 3:1의 CaB /SC로 배합하여 충분히 처리한 주물사의 수분과 충진성의 관계는 그림 2-5의 것과 같이 그림 11과 12에 보여준다.

그림 11과 12의 곡선방정식은 부록에 설명되었다. 이들 방정식을 위한 data는 문헌<sup>1-4</sup>에 기술되었다. 이들 배합사는 앞에 설명된 두 경우처럼 8% NDC 에서의 곡선의 꺾임을 보여주지 않는다. 충진

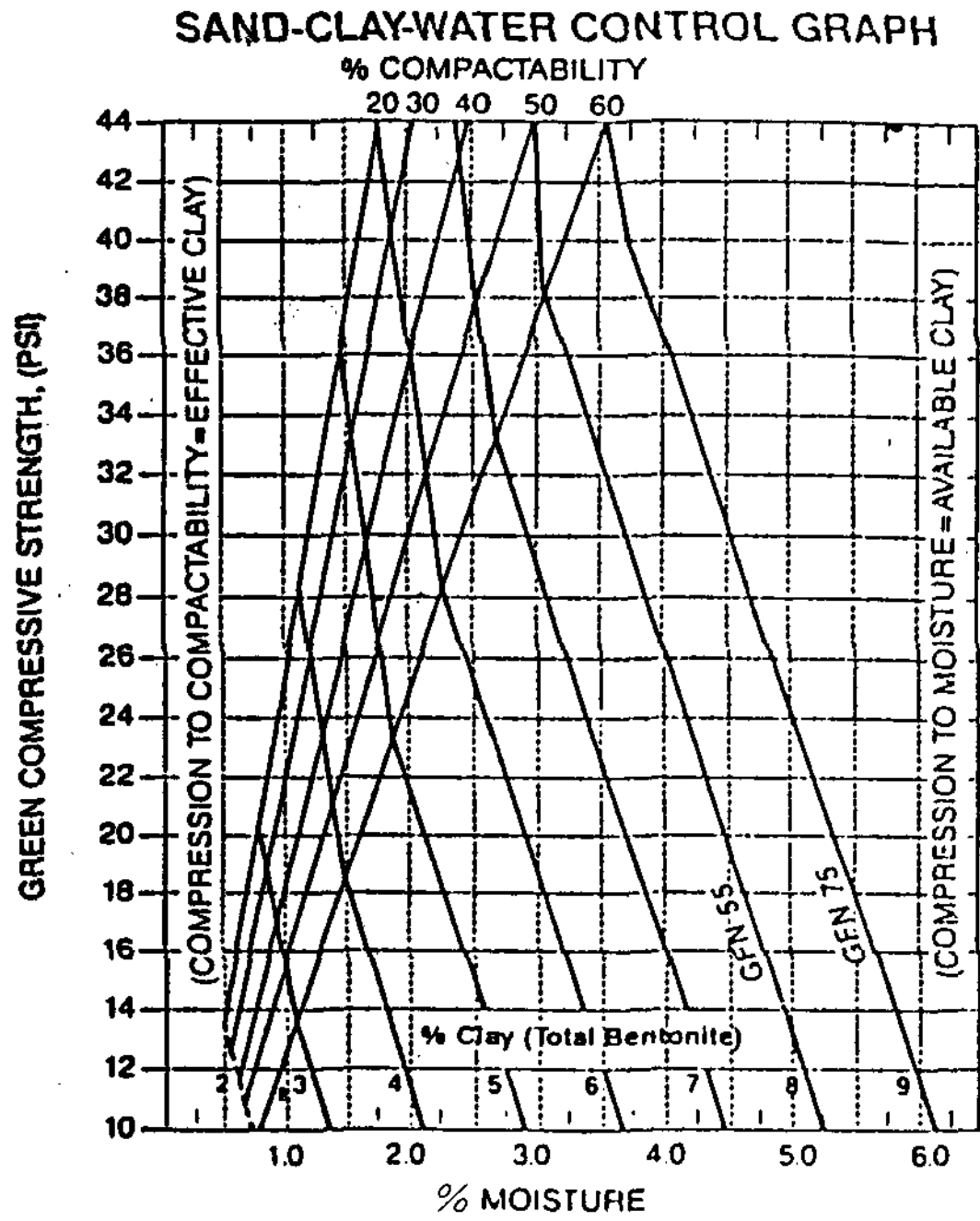


그림 6. Sand-clay-water control graph of the type reported in reference 5.

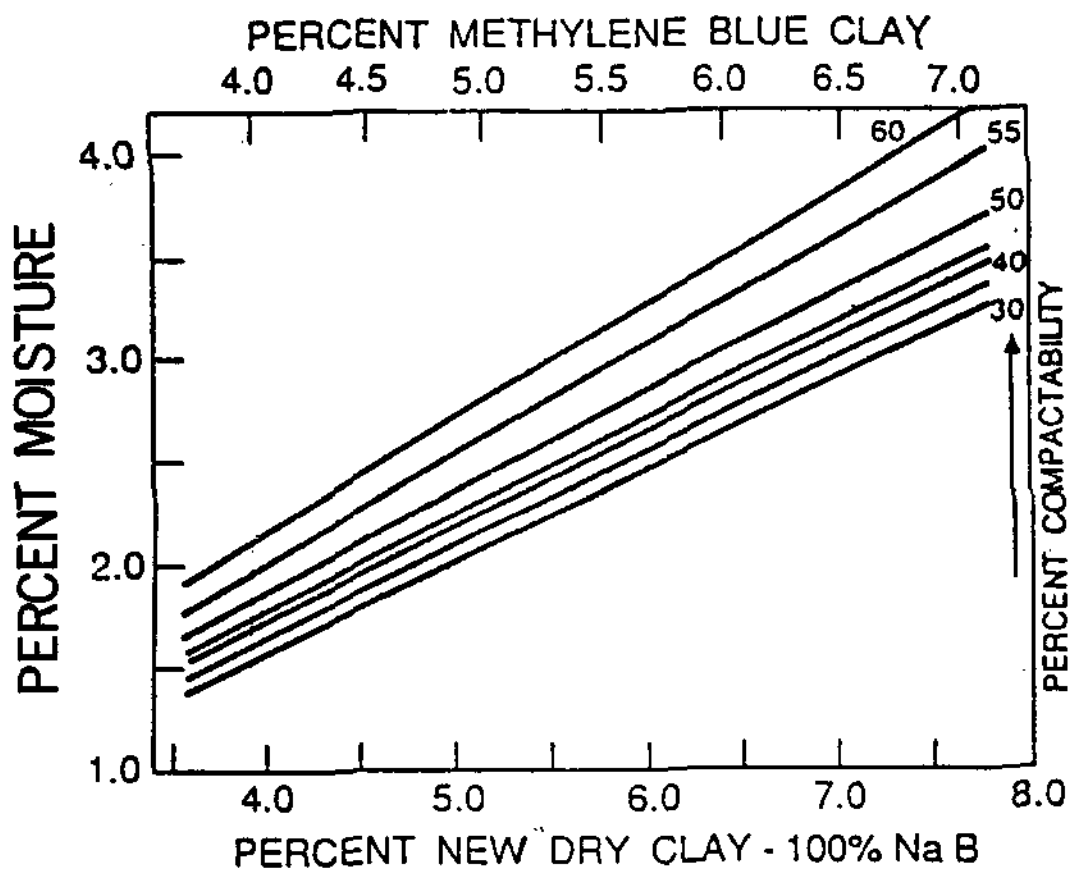


그림 7. Relationship of percent moisture and compactability in green sand bonded with new dry Na bentonite clay in the range of 4.0-8.0% by with seacoal additive in clay seacoal ratio of 3:1

성이 일정할 때의 생형압축강도와 %NDC의 관계는 전과 같이 그림 13에 설명되었다. 또는 일정한 충전성일 때, 생형압축강도와 수분의 관계는 그림 14와 같다. 그림 11-14는 50% NaB-50% CaB의 경우인 그림 2-5의 CaB 점토상당량이고, 같은

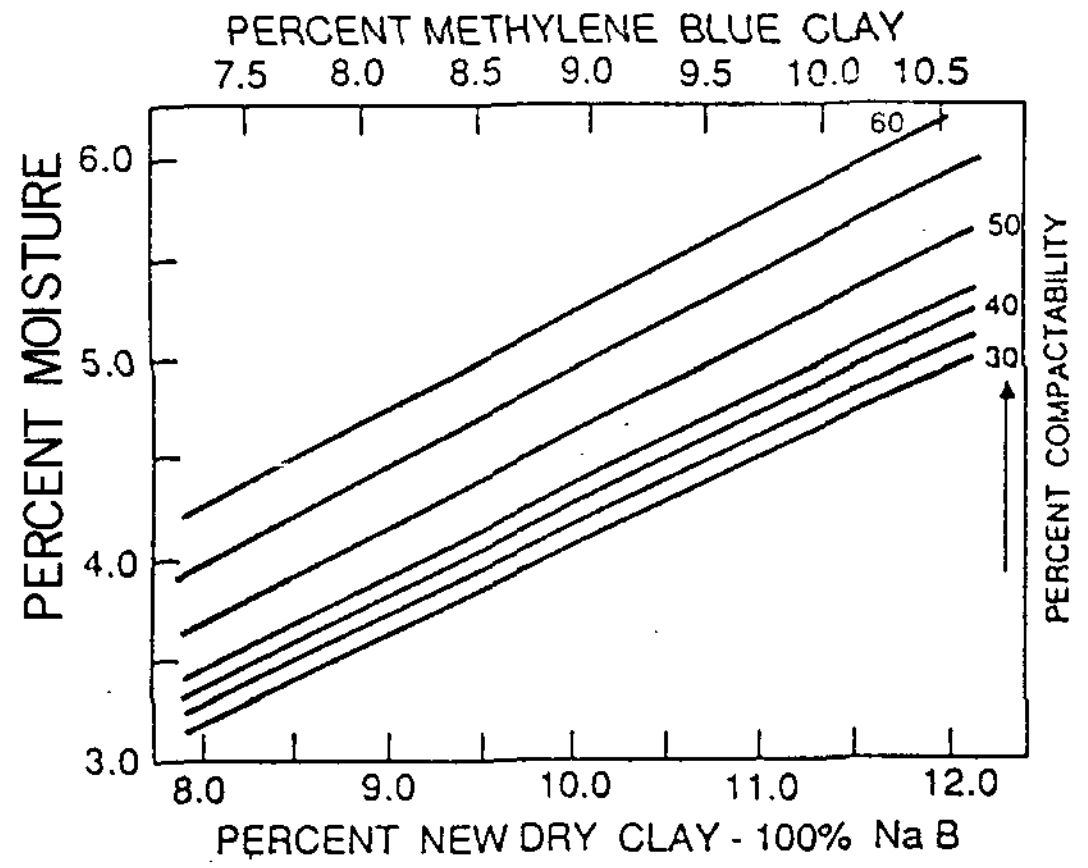


그림 8. Same as 그림 7 in the range of 8-12.0% new dry Na bentonite clay.

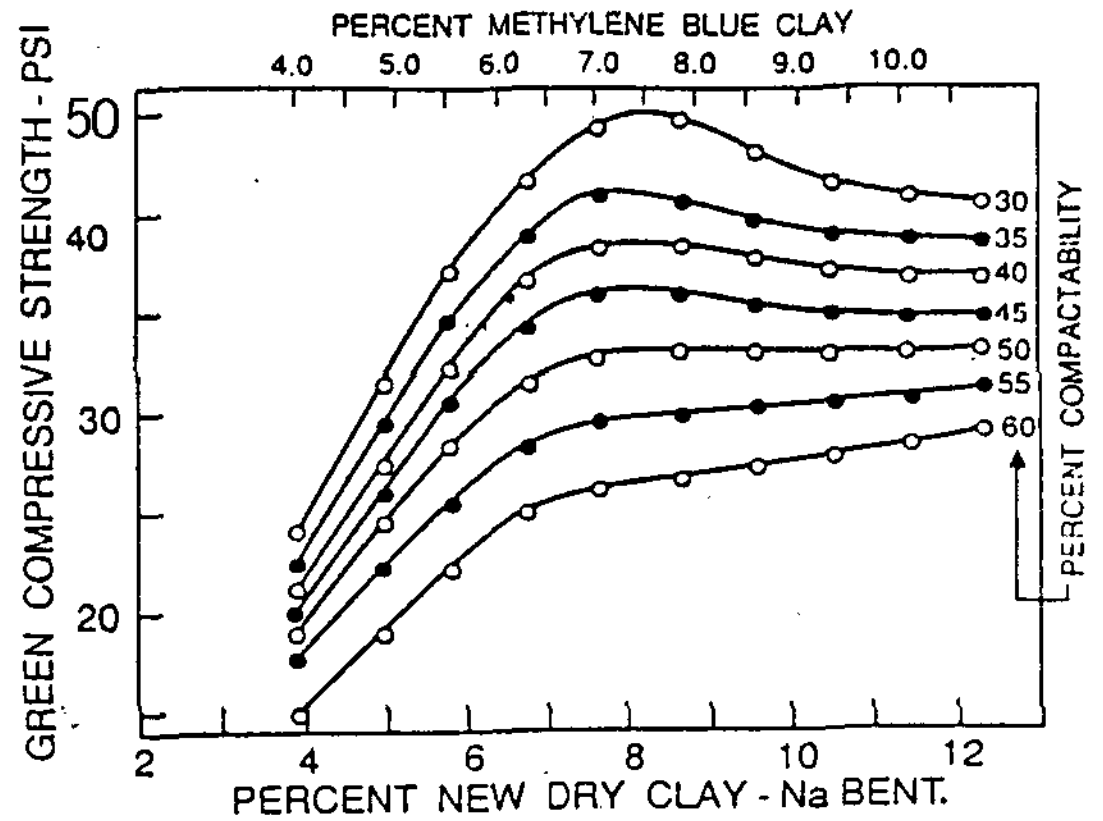


그림 9. Relationship of green compressive strength and percent new dry Na bentonite in green sand at constant compactability for sand mixtures of 그림 7 and 8.

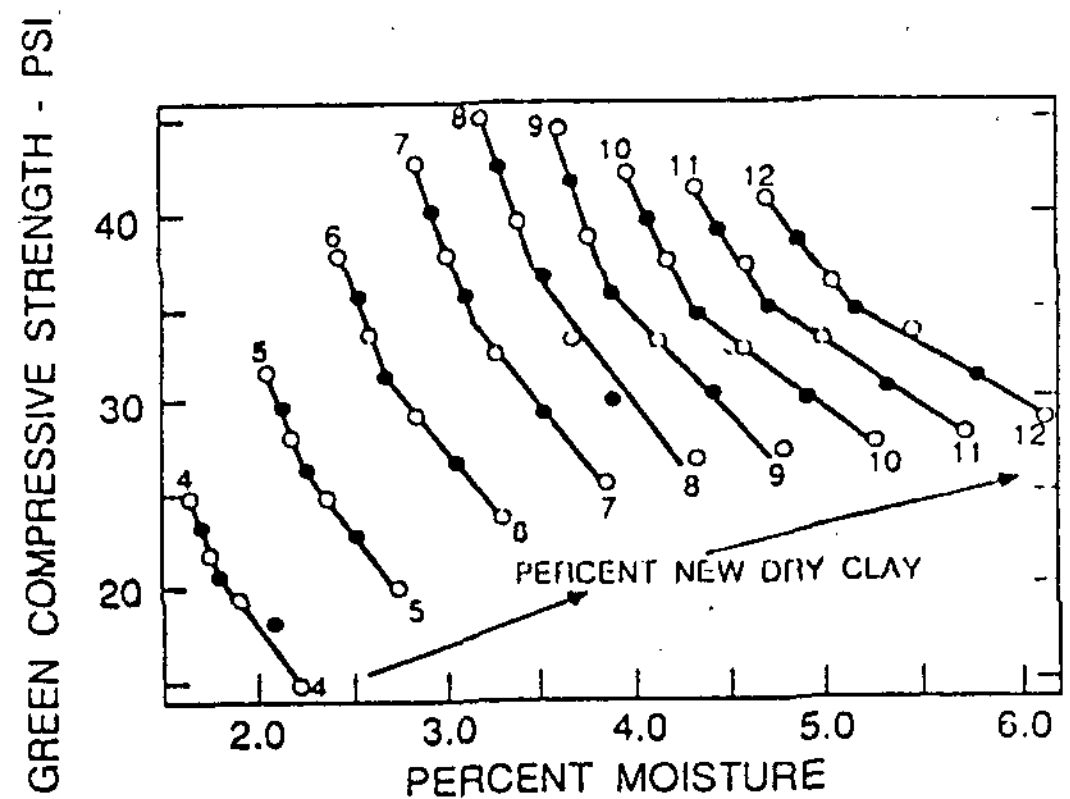


그림 10. Relationship of green compressive strength and percent moisture at constant percent clay in green sand bonded with new dry Na bentonite and seacoal additive in 3:1 ratio.

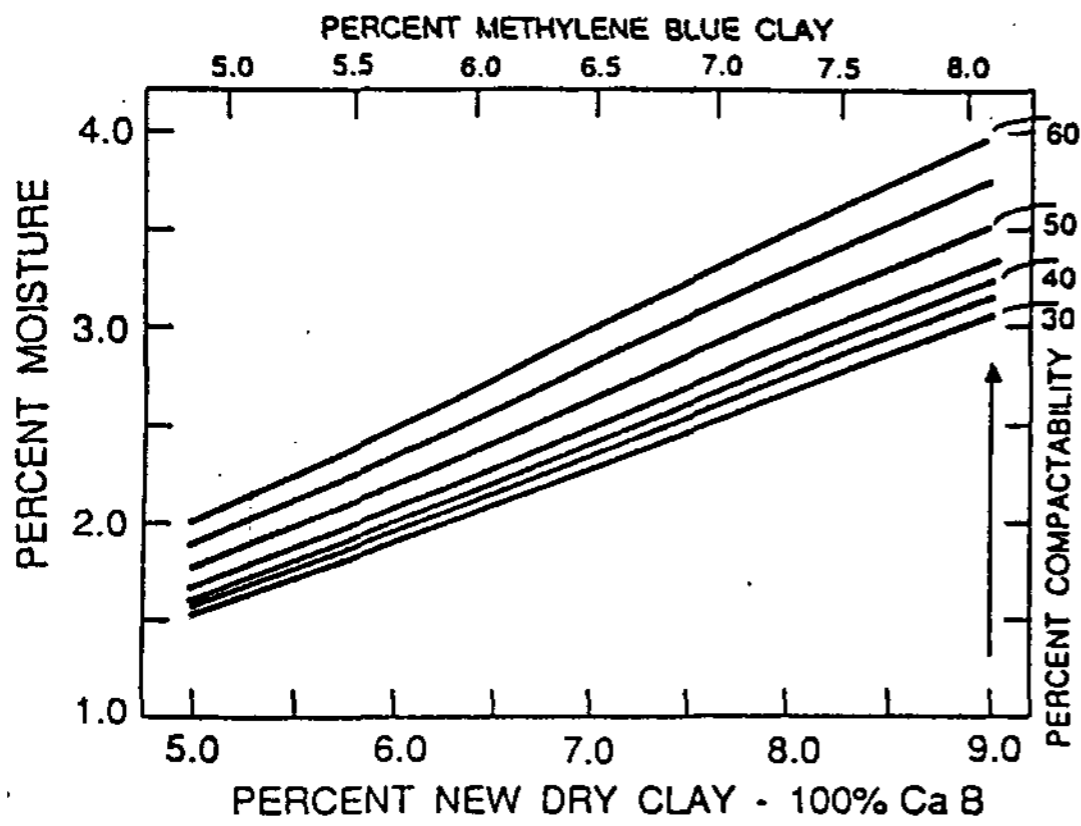


그림 11. Relationship of percent moisture and compactability in green sand bonded with new dry Ca bentonite in the range of 5 to 9.0% clay with seacoal additive in 3:1 clay seacoal ratio

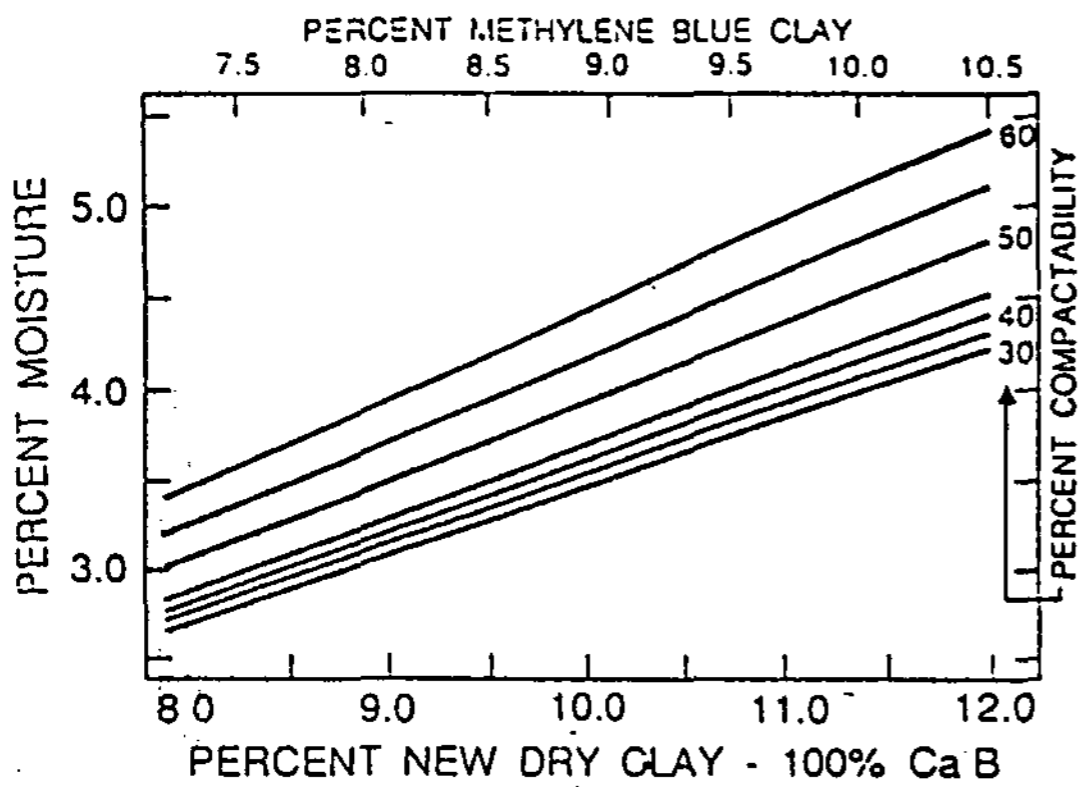


그림 12. Same as 그림 11 in the range of 8-12% new dry Ca bentonite clay

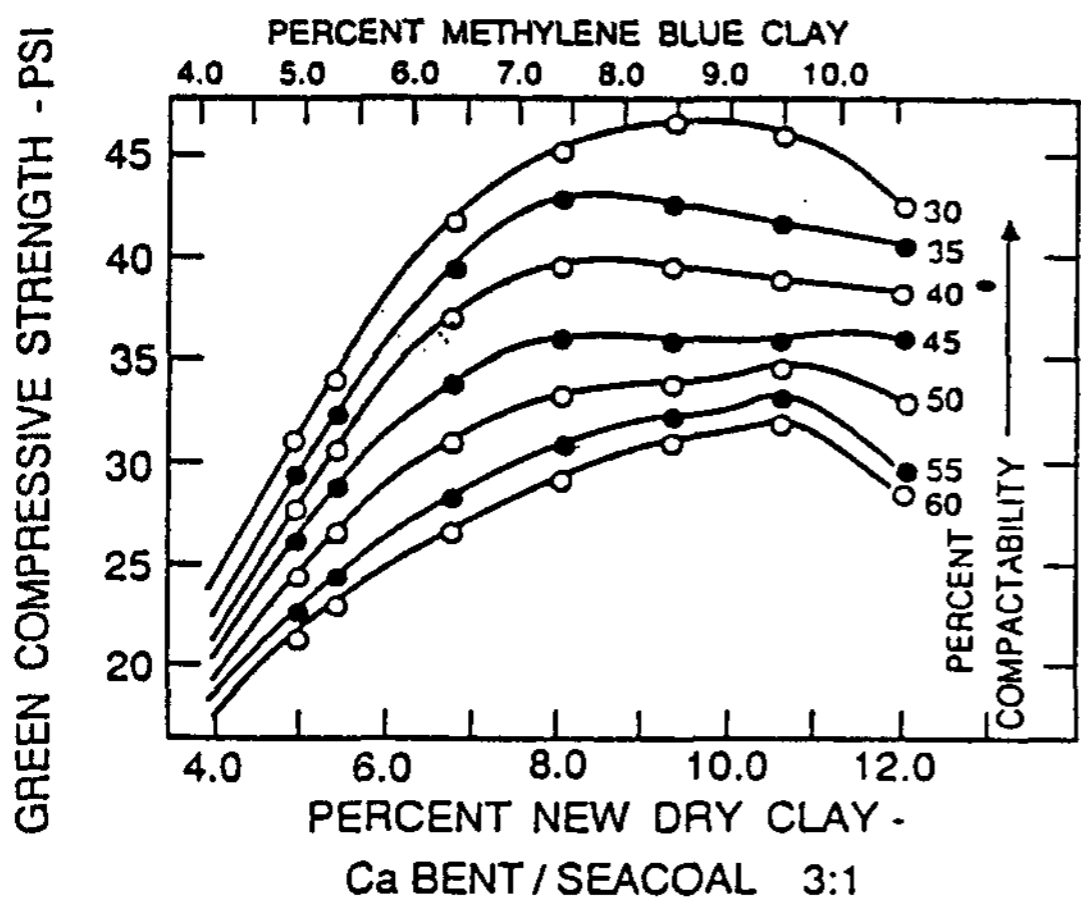


그림 13. Relationship of green compressive strength and % new dry Ca bentonite at constant compactability for sand mixtures of 그림 11 and 12.

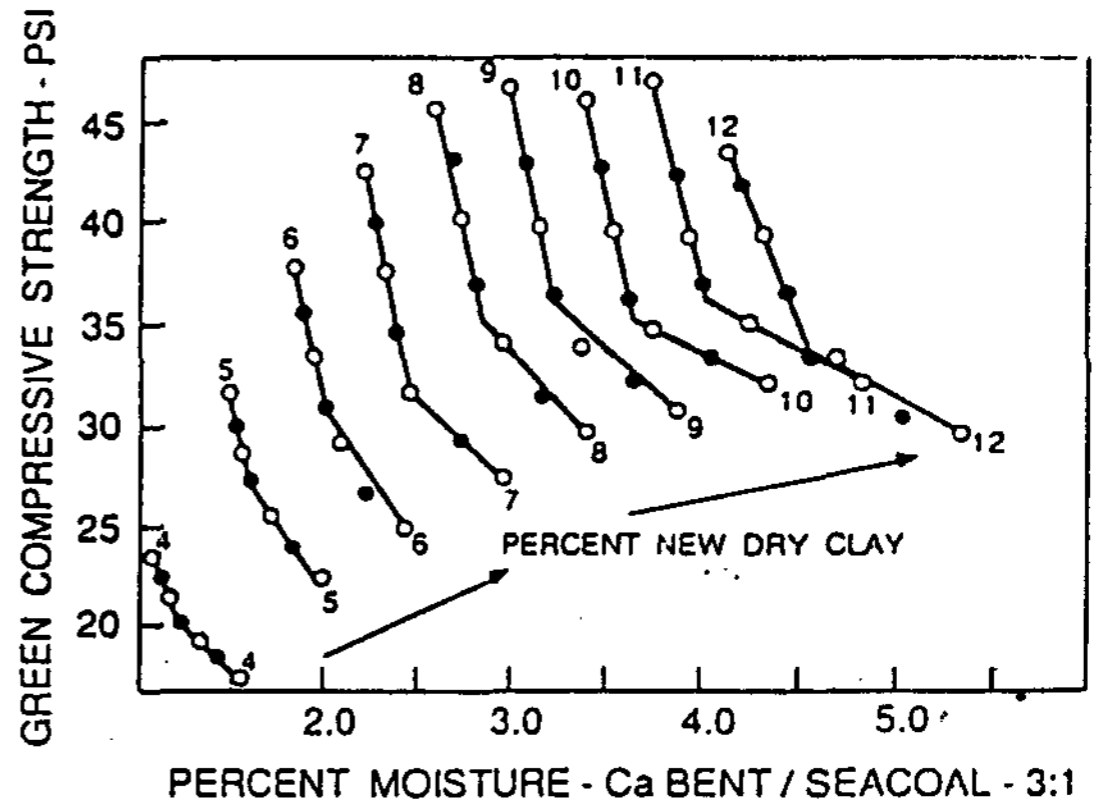


그림 14. Relationship of green compressive strength and moisture at constant percent clay in green sand bonded with new dry Ca bentonite and seacoal additive in 3:1 ratio

방법으로 설명된다.

### 수 분

NaB 배합사와 CaB 배합사를 비교할 때 주어진 충진성을 얻기 위하여 필요한 수분량에는 중요한 차이가 있다. NaB 배합사는 CaB 배합사보다. 어떤 주어진 충진성에서 현저하게 높은 수분량을 필요로 한다. 이 둘사이의 차이는 아래와 같이 나타내며

$$\Delta M\% = M_{NaB} - \%m_{CaB}$$

이는 부록의 여러 방정식에서 얻어진다. 즉, 방정식 13-23은 8%NDC와 48% 충진성 이하, 그리고 방정식 19-23은 48%의 충진성 이상에 대한 것이다. 결과로 유도되는 방정식 27~30은 부록에 열거되었다. 이들 방정식은 4~12%의 NDC 점토의 함유량과 30~60%의 충진성의 영향에 대하여 설명되었다.

결과적으로 점토의 함량은 M<sub>NaB</sub>-M<sub>CaB</sub>의 차에 별영향을 미치지 못하나, 충진성의 정도는 표 3의 결과가 나타내는 바와 같이 매우 중요하다는 것을 보여준다. Table의 충진성에 대한 ΔM의 관계는 방정식 31로 표현되며, 다음과 같다.

$$\Delta M = 0.006361 \times \% COMP + 0.3410 \quad (31)$$

NaB와 CaB 점토의 혼합물은 수분요구량이 두 가지 점토의 함유량의 차이에 비례할 것으로 예측된

다. 그러면 50% NaB / 50CaB의 혼합물의 수분정도는 어떤 주어진 충전성에서 NaB 와 CaB 혼합물 사이의 중간이거나, 또는 표에서의 수치차이의 50% NaB / 50% CaB은 동일한 충전성에서 100% NaB배합사보다 약 0.10% 내지0.15%이하의 CaB를 가지는 점토 배합물의 수분은 50% NaB / 50%CaB 100% NaB 수분차이를 비례식으로 계산하여 개략 산출할 수 있다.

**적 용**

표 4에 열거된 주물사의 특성들은 도표나 방정식을 활용하는 방법을 보여주기 위하여 사용된다. 표 4의 주물사 V를 생각하자. 이는 NaB / SC로 점결된 주물사로 알려졌다. 시험 MB 값 9.2%는 방정식 1로부터 13.38%NDC로 계산된다. %MB를 알고 있을때 그림 8로부터 %NDC를 읽을 수 있다. 10.38%NDC와 40% 충전성 시험치에서, 주물사는 충분히 처리된다면 4.36%의 수분을 필요로 하는 것을 그림 8은 보여준다. 부록의 방정식 17은 계산에 의하여 4.35%의 수분을 필요로 한다. 시험에 의한 수분은 표 4에서 3.7%이다. 이때 수분지수는  $(3.7 - 4.35) \times 100 = 85.1\%$ 이다. NaB가 40%의 충전성을 나타낼 수 있는 최대 수분을 흡수하도록 주물사를 충분히 처리한다면, 수분부족이 생긴다.

3.7% 수분과 40% 충전성의 시험치는, 40% 수 준을 이루기 위하여 충분히 처리된 주물사에서 요구되는 %NDC를 추정하는데 사용될 수 있다. 9.75%의NDC이면 충분한 것을 그림 8에서 알 수 있다. 부록의 방정식 18은 9.75%NDC를 얻는다. 그러나, 점토-충진성 지수는  $(9.75 \div 10.38) \times 100 = 93.9\%$ 이다.

점토는 충분히 처리된 주물사에서 현재 수준의 94%까지 감소되고 3.7% 수분일 때 40%의 충전성을 얻을 수 있음을 점토지수는 보여준다.

40% NaB / 60% CaB 점토로 점결된 표 4의 주물사 G를 생각하자. 80% MB의 시험치는 그림 3이나 부록의 방정식 1에서부터 8.9%의 NDC를 얻는다. 8.9% NDC와 42% 충전성에서 수분필요량은 3.65%인 것을 그림 3에서 알 수 있다. 부록의 방정식 5에 의한 계산은 3.64%를 나타내고 있으나, 시험에 의하면 4.0%가 존재한다. 이때 수분지수는  $(4.0 \div 3.64) \times 100 = 109.9\%$ 이다. 40%의 충전성을 얻기 위하여 실제로 필요한 양 이상으로 과잉의 수분이 존재하게 된다. 이는 사처리에서 일어나는 뜨거운 주물사문제가 원인일 수 있다.

점토의 충전성지수를 확인하기 위하여는, 42% 수분과 42%충진성의 시험특성치를 이용하여 충분히 처리된 주물사에서 필요한 %NDC를 예측할 수 있다. 이 경우는 약 9.82%이며, 부록의 방정식 6은

표 3. Difference in moisture percentage between 100% CaB and 100% NaB mixtures at Nonstant compactibility

% Compactability	$\Delta M - \%M_{NaB} - \%M_{CaB}$
30	0.531 +.05 -.04
35	0.562 -.05 +.06
40	0.594 +.06 -.06
45	0.625 +.06 -.08
50	0.5657 +.01 -.04
55	0.688 +.04 -.04
60	0.72 -.04 +.12

The  $\pm$  values indicates the range from the listed value when  $\Delta M$  is calculated over the clay level range of 4-12% NDC.

표 4. Illustrative sand properties

Sand Properties	Sand G 40% NaB 60% CaB	Sand V 100%NaB
1. Moisture, %	4.0	3.7
2. Compactability, %	42	40
3. Green compreseive strength, pai	25.0	28.1
4. %MB clay	8.0	9.2
5. %NDC calculated from equation 1	8.9	10.38
6. %moisture uptake calculated	3.64	4.35
7. %NDC calculated	9.77	9.75
8. %moisture urillzation	$\frac{4 \times 100}{9.77}$	$\frac{3.7 \times 100}{9.75}$
% MI	108.7	85.1
9. %clay index	$\frac{9.77 \times 100}{8.9}$	$\frac{9.75 \times 100}{10.38}$
% CI	109.8	93.9
10. Maximum GCS, psi: figure 5	32.0 pai	off Scale
11. %Greem Strength Efficiency	78.1	Very Low
12. Maximum Compactability	52.5 figure 3	Off Scale
13. Compactability Efficlancy, %Efficiency, $\frac{42}{52.5} \times 100$	80.0	Vary Low



표 5. Relationship of percent effective clay EC and percent NDC at equal values for compressive strength and compactibility for MaB and CaB bonded sand

GCS PSI	40% COMP		40% COMP		50% COMP		60% COMP		30% COMP		40% COMP		50% COMP		60% CO	
	EC 그림6	NDC 그림9	EC 그림6	NDC 그림9	EC 그림6	NDC 그림9	EC 그림6	NDC 그림9	EC 그림6	NDC 그림9	EC 그림13	NDC 그림13	EC 그림13	NDC 그림13	EC 그림13	NDC 그림13
42	6.2	6.9	6.85	-	7.65	-	-	-	-	-	6.2	-	-	-	-	-
40	5.9	6.45	6.6	-	7.3	-	8.3	-	-	5.9	-	-	-	-	-	-
38	5.65	6.0	6.2	7.25	7.0	-	7.9	-	-	5.65	7.1	-	-	-	-	-
34	5.1	5.35	5.65	6.1	6.3	-	7.1	-	-	5.1	6.05	-	-	-	-	-
30	4.55	4.8	5.0	5.35	5.6	6.15	6.3	-	-	4.55	5.3	6.5	8.5	-	-	-
28	4.3	4.5	4.75	5.05	5.3	5.7	5.95	-	-	4.3	5.0	5.8	7.43	-	-	-
26	4.0	4.2	4.45	4.7	4.95	5.25	5.45	7.	-	4.0	4.7	5.23	6.6	-	-	-
24	3.7	3.95	4.1	4.4	4.6	4.9	5.1	6.25	-	3.7	4.4	4.85	5.8	-	-	-
22	3.4	-	3.8	4.1	4.2	4.5	4.75	5.6	-	3.4	4.15	4.5	5.05	-	-	-
18	2.9	-	3.2	-	3.5	-	3.95	4.65	-	2.9	-	4.17	4.05	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	3.45	4.25	-	-	-	-	-	-	-	-

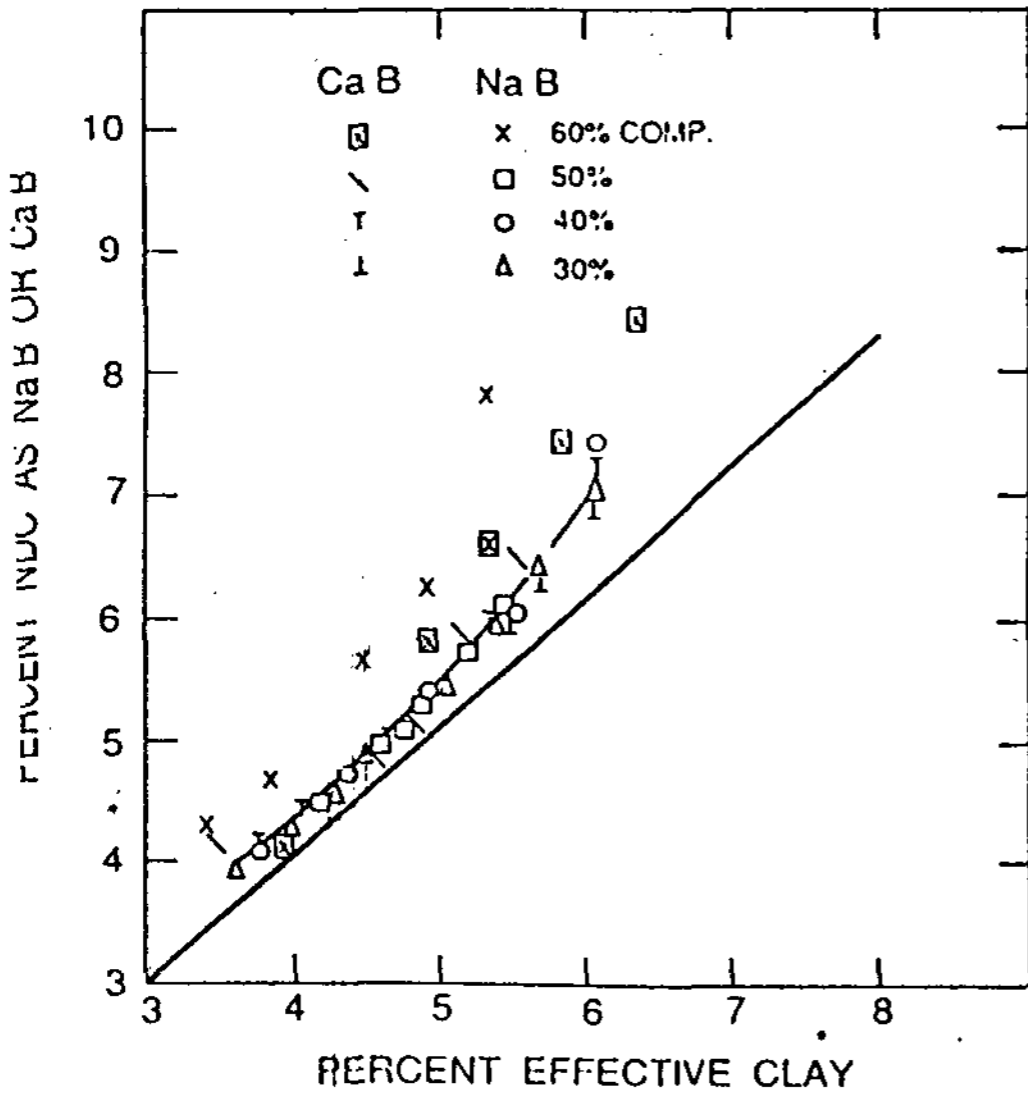


그림 15. Relationship of percent effective clay from 그림 6 at equal compressive strength and compactibility as percent NDC in 그림 and 13, data from 표 5.

9.77%NDC를 얻는다. 그래서, 점토 충진성지는  $(9.77 \div 8.9) \times 100 = 109.8\%$ 이다. 이때의 지수로써, 주물사가 충분히 처리된다면 4.0%의 수분일 때 42%의 충진성 얻으려면 더 많은 점토가 요구되는 것을 알 수 있다.

그래서, 수분지수 및 점토지수는 충분히 처리된 주물사에 대하여 100%기준에서부터 일정한 같은 방향으로 작용하는 것이 분명하다. 충분히 처리된 주물사를 참고조건으로 받아들이면, 어떤 주어진 충진성에 대하여 과잉의 수분이나 점토의 여러가지

추세를 추적할 수 있다. 이들 주물사에 대하여는 유효 점토량이나 가용점토량의 어느것도 그림 6으로부터 결정될 수 없다. 더우기나, 이들 주물사에 함유된 10.38%와 9.77%의 NDC는 그림 9와 4의 점토 포화구역에서 각각 일어나며, 그래서 점토 호화된 주물사에서는 그림 6D의 유효점토 사관리기술을 사용하기에는 부적당한 것으로 보인다.

8% NDC 또는 8% 가용점토 이하에서는, 30~50%의 충진성 범위에서 유효점토와 %NDC는 직접적인 상호 관계가 있다(그림 15). 동일한 압축강도와 충진성에 대하여 그림 6에서 %유효점토를 읽고, 그림 9로부터 NaB에 대한 %NDC를 읽음으로써 그림 15를 얻을 수 있다. 이로써 얻어진 결과 표 5에 보여준다. CaB 혼합 주물사에 대하여도 같은 정보를 그림 13에서 얻을 수 있으며, 표 5에 열거되고 그림 15에 그림으로 나타내었다. 30~50%의 충진성 범위에서 동일한 관계의 %유효점토와 %NDC를 가지는 NaB와 CaB의 배합사를 그림 15에 보여준다. 50%이상의 충진성에서 그림 9와 13에서 보여주는 바와 같이, 충진성곡선이 아래로 굽어지므로 그 관계는 50%이상의 충진성에서는 변화한다. 가용점토를 결정하기 위한 그림 6의 생형압축강도 대 수분 관계선은 현재의 data와 역시 관계 지을 수 있다.

그림 6의 선들을 서로 비교하기 위하여 그림 5, 10 및 14에 포개놓아. 그림 16, 17 및 18에 보여주었다. 그림 16에서는 50NaB / 50%CaB에 대한 GCS-수분관계선은 그림 6으로부터 옮겨진 선들에 거의 평행이거나, 보다 높은 수분쪽으로 이동하는 것으로 보인다. 그림 17에서 100%NaB 배합사

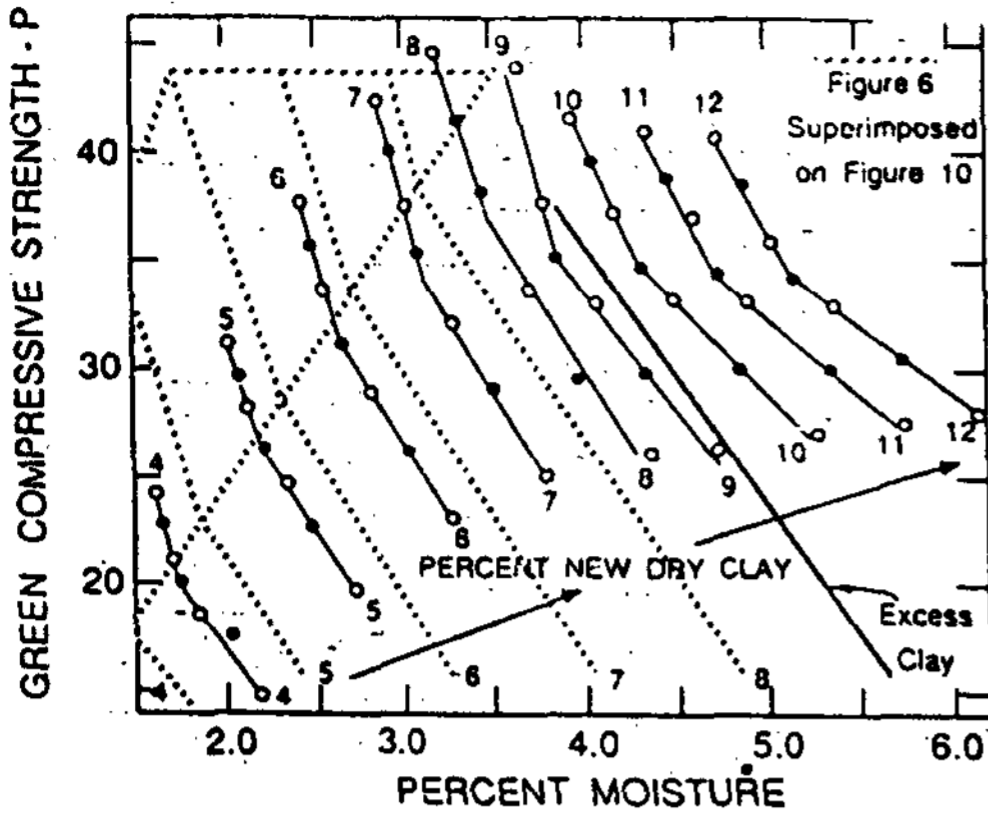


그림 16. Curves from 그림 6 superimposed on those of 그림 5 for comparison. The clay in 그림 5 is 50% Na bentonite and 50% Ca bentonite.

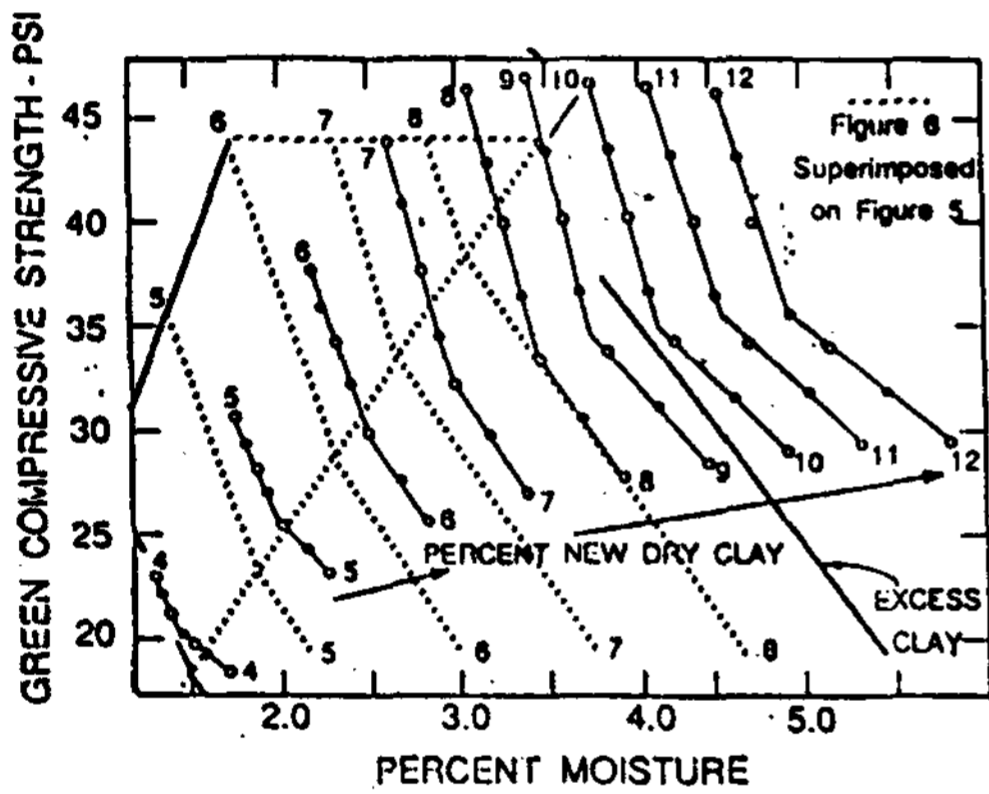


그림 17. Curves from 그림 6 superimposed on those of 그림 10 for comparison. The clay in 그림 10 is 100% Na bentonite.

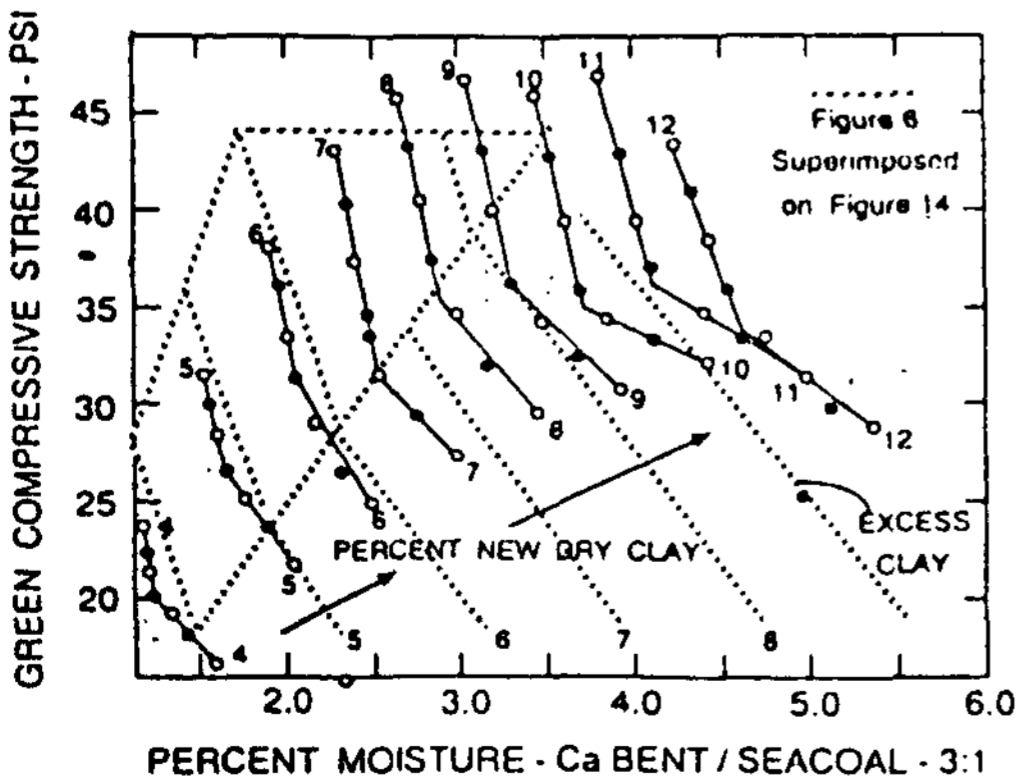


그림 18. Curves from 그림 6 superimposed on those of 그림 14 for comparison. The clay in 그림 14 is 100% Ca bentonite.

표 6. Sand properties and mulling efficiency of a 100% NaB bonded System sand

	100% NaB Sand	V2
% Moisture		3.3
% Compactability		44
Green Compressive Strength, PSI		30.1
% MB Clay		7.0
% Bonding Clay, Figure 6		5.3
% Available Clay, Figure 6		7.4
% NDC Bonding Clay, Figure 9		5.7
% NDC Available Clay, Figure 10		6.8
% NDC from % MB, equation 1		7.66
Mulling Efficiency, Figure 6		71.6
Mulling Efficiency, Figure 9 and 10		83.8%
Mulling Efficiency : $\frac{\% \text{ NDC Bonding Clay}}{\% \text{ NDC, Equation 1}}$		74.4
Mulling Efficiency : $\frac{\% \text{ Bonding Clay Fig.6}}{\% \text{ NDC, equation 1}}$		69.2
Maximum GCS at 3.3% H <sub>2</sub> O, figure 10		37.5 psi
Green Strength Efficiency (30.1 + 37.5) 100		80.3
Moisture Index (3.38 + 3.3)100		102.4
Clay Index (7.46 + 7.66) 100		97.4
Maximum Compactability at 3.3% moisture and 7.66% NDC, Fig.		40%
Compactability Efficiency (40 + 44) 100		90.9%

에 대한 GCS-수분선은 그림 6의 선들에 다시 평행이거나 더더욱 높은 수분쪽으로 이동한다. 그림 18에서 100%CaB 배합사에 대한 GCS-수분선 그림 6의 선에 거의 평행인 것처럼 보이나, 보다 낮은 수분쪽으로 점진적으로 이동한다.

초기의 연구는 Na 벤토나이트를 가지고 행한 것이므로, 수분선의 변동을 CaB 배합사에 대하여도 생각할 수 있다.

그림 17의 NaB 배합사에 대한 변동은, 곡선의 이동이 그이상 일어나지 않을 때까지 진행된 때문인 것으로 여겨진다. 보여준 여러 비교결과는 초기 연구결과의 유효성을 뒷받침한다.

8%이상의 점토 함량까지 그래프를 연장하여 작성하였다. 이들 data와 초기 연구는 더욱 광범한 연구진행에서 볼 때 훌륭하게 일치하는 것으로 간주된다.

### 사처리 효율

“%결합점토”를 그림 6과 시험data로부터 결정된 “가용점토”로 나눈값에 기초하는 “혼련효율”이 가용점토 8%이하일 때의 사처리 효율을 확인하기 위하여 오랜동안 사용되었다. 같은 기술을 그림 4,

丑 A. Equations for relationships of MB clay, dried new clay, and added clay and moisture and compactility of mixtures:  
NaB/ CaB/ Seacoal  
in 1.5/ 1.5/ 1 Ratio

Clay Content and Compactability	Equations 1-12
A. 4 to 15%. NaB or CaB, % MB by test	1. %NDC = 1.2358 × %MB - 0.9894 2. %NDC = 1.3274 × %MB - 1.0241 3. %NDC = 0.931 × %ADC - 0.036 4. %ADC = $\frac{\%NDC + 0.036}{0.931}$
B. Above 9% ADC or 8% NDC and below 48% Compactability : 5. % moisture uptake calculated from compactability and %NDC from equation 1 6. %NDC calculated from test % moisture and compactability	5. %MOIST = %DNC (0.00213%COMP + 0.279) + 0.40 6. %NDC = $\frac{\%MOIST - 0.40}{(0.00213 \times \%COMP + 0.279)}$
C. Above 9% ADC or 8% NDC and above 48% compactability : 7. % moisture up take calculated from compactability and %NDC from equation 1. 8. %NDC callculated from test % motsture and compactability	7. %MOIST = %NDC (0.0059% COMP + 0.096) + 0.40 8. %NDC = $\frac{\%MOIST - 0.4}{(0.0059 \times \%COMP + 0.096)}$
D. Below 9% ADC or 8% NDC and below 50% compactability : 9. % moisture uptake calculated from compactability and %NDC from equation 1. 10. %NDC from Lest % moisture and compactability	9. %MOIST = %NDC (0.00237 × %comp + 0.3863) - 0.52 10. %NDC = $\frac{\%MOIST + 0.52}{(0.002375 \%COMP + 0.3863)}$
E. Below 9% ADC or 8% NDC and above 50% compactability : 11. % moisture uptake calculated from compactability and %DNC from equation 1. 12. %NDC from test % moisture and compactability	11. %MOLST = %NDC (0.006%COMP + 0.205) - 0.52 12. %NDC = $\frac{\%MOIST + 0.52}{(0.006 \%COMP + 0.205)}$

丑 B. Equations relating percent new dry clay, moisture, and compactibility of 3:1 NaB/ seacoal bondedsand

Condition	Equation
13. Below 8% NDC and 48% Compact-ability	13. %MOIST = %NDC (0.0024 × %COMP + 0.336)
14. Equation 13 rearranged	14. %NDC = MOIST + (0.0024 × %COMP +
15. Below 8% NDC and over 48% Com-compactability	15. %MOLST = %NDC (0.0076 × %COMP + 0.088)
16. Equation is rearranged	16. %NDC = %MOIST + (0.0076 × %COMP + 0.088)
17. Above 8% NDC and up to 48% Com-compactability	17. %MOIST = %NDC (0.0023 × %COMP + 0.308) + 0.2
18. Equation 17 rearranged	18. %NDC = (%MOIST - 0.2) + (0.0023 × %COMP + 0.308)
19. Above 8% NDC and over 48% Com-compactability	19. %MOIST = %NDC (0.0064 × %COMP + 0.116) + 0.2
20. Equation 19 rearranged	20. %NDC = (%MOIST - 0.2) + (0.0064 × %COMP + 0.116)

21. Above 8% NDC and Over 55% Compactavilits	21. %MOIST = %NDC (0.0023 × %COMP + 0.332) + 0.54
22. Equation 21 rearranged	22. %NDC = (%MOIST - 0.54) + (0.0023 × %COMP + 0.332)

표 C. Equations relating percent new dry clay, moisture, and compactibility of 3:1 CaB/ seacoal bonded sand

Condition	Equation
23. Up to 13% NDC and 46% Compactability	23. %MOIST = %NDC (0.0015%COMP + 0.34) - 0.4
24. Equation 23 rearranged	24. %NDC = (%MOIST + 0.4) + (0.0015%COMP + 0.34)
25. Up to 13% NDC and Over 46% Compactibility	25. %MOIST = %NDC (0.005 × %COMP + 0.18) - 0.4
26. Equation 25 rearranged	26. %NDC = (%MOIST + 0.4) + (0.005 × %COMP + 0.18)

표 D. Equations for the difference in water requirements of sodium and calcium bonded sands

Condition	Equation
27. Less than 8% NDC and 48% Compactibility	27. Δ M = %NDC (0.0009 × %COMP - 0.004) + 0.04
28. Less than 8% NDC and more than 48% Compactibility	28. Δ M = %NDC (0.0014 × %COMP - 0.064) + 0.06
29. Less than 8% NDC and less than 48% Compactibility	29. Δ M = %NDC (0.0008 × %COMP - 0.34) + 0.06
30. More than 8% NDC and more than 48% Compactibility	30. Δ M = %NDC (0.0014 × %COMP - 0.064) + 0.6

5, 9, 10 및 13과 14와 함께 이용할 수 있다. Table 6의 data를 생각해 보자. 이들 특성치는 8%이하의 점토가 존재함을 보여준다. 점토값을 선정하는데 있어서 기준을 삼는 표 4에서의 "혼련혼율"은 69.2~83.3%범위이다. 가용점토는 %MB 시험에서 얻는 NDC와 방정식 1에서 직접 계산할 수 있다.

$\%NDC(\text{그림 4, 9 및 13}) / \%NDC(\text{MBTest}) \times 100$ 으로 정의된 혼련효율을 현재의 연구로부터 얻어질 수 있는 혼련효율로 제안되었다. 그러나, 이는  $(\text{유효점토} \div \text{가용점토}) \times 100$ 과는 약간 다르며, 표 6에서 71.6대 74.4이다.

점토함량이 8%이하 일때에는 사처리 효율 평가에 대한 또다른 접근법이 필요하다. 주물사의 %NDC는 방정식 1과 %MB시험으로부터 결정되어야 한다. 이때 수분지수와 점토 지수가 처리 효율의 척도가 된다.

혼련작업후의 주물사로 부터 생형압축강도를 예상할 수 있다. 얻어진 강도는 충분한 처리후에 얻을

수 있는 최대치보다 낮을 수도 있다. 생형강도효율은  $(\text{GCS 측정치} \div \text{함유수분에 대한 최대 GCS}) \times 100$ 으로 나타낸다.

즉,  $\text{GSE} = (\text{TEST GCS} / \text{MAX GCS}) \times 100$

표 6에서, 3.3%수분과 7.66% NDC 일때의 최대 GCS 는 그림 10으로부터 37.5 PSI이다. 이때의 GSE는 80.3%이다. 표 4에서, GSE는 주물사 G에 대하여는 78.1이며, 3.7%의 수분과 10.38%의 NDC일 때 최대 GCS는 한계를 벗어나므로 주물사 V에 대하여는 매우 낮아지게 된다. 그래서 GSE로써 생형강도를 향상시키고자하는 사처리의 효율성을 감지할 수 있다. 또 다른 방법은 충전성과 %MB의 교차점 확인으로, 그림 4. 9. 13에서 확인할 수 있다.

% NDC를 MB점토 측정으로부터 알 수 있을때 충전성을 높여주는 사처리 장치의 효율은 현재의 수분에 대한 최대 충전성으로 나눈 시험%충진성으로 정의되며,  $\text{CE} = (\text{Test\% 충전성} / \text{초대 충전성})$

×100 이다.

표 6의 주물사 V<sub>2</sub>와 표 4의 주물사 G는 각각 9% 80.0%의 충진성 효율을 나타낸다. 다시, 주물사 V는 그림8의 범위를 벗어나고, 적절하게 일관리게 처리가 덜 되었거나 과잉으로 처리된 것을 나타낸다. 이들 지수와 효율값에 의해 주물사 V<sub>2</sub>는 91%에 이르는 CE와 100%에 가까운 MI와 CI를 가지며 충분히 처리된 것으로 보여진다.

최대치에 이르는 마지막 성질인 습태강도는 주물사V<sub>2</sub>에 대해서는 80%에 이른다. 주물사 G는 MI=109%와 CI=110%로서 초과습도를 나타내며, GSE=78.1%, CE=80% 까지 처리하는데는 덜 효과적인 것으로 나타난다. 이것은 아마 사처리 장치대의 뜨거운 주물사 문제에 기인한다고 본다. 주물사 V는 사처리 과정중 덜 처리 되었거나 과잉 점결되었을 가능성을 나타낸다.

### 총 합

주물사-점토-수분 조절 도표인 그림6을 8%이상의 점토를 함유한 주물사까지 확대하는 것이 앞에 보고한 확대연구계획의 주요 목적이다.

이 보고에서 8% 점토로 한정된 원래 그래프와 새로운 data의 상호관련성이 확인되었다. 8% 이상의 점토에 대하여 새로운 그래프가 사용된다. 전체 점토범위에 걸치는 점토 함량에 대하여 수분과 충진성을 상호연관시키는 것이 본 연구의 또다른 목적이다.

지금의 작업은 또한 100% NaB, NaB와 CaB 혼합, 100% CaB의 효과들을 포함한다. NaB는 동일한 충진성과 점토조성에 대하여 CaB로 점결된 주물사 보다 훨씬 많은 습도를 요한다.

사처리장치와 주물사조성의 효율성은 제안된 효율측정치와 지수에 의해 평가될 수 있다.

### 부 록

충분히 처리된 주물사에서 %습도, 습태압축강도, %충진성, NDC 점토%, %MB 점토, %ADC와 관련된 식들을 앞에 제시하였다. 1-4

본문의 그림2, 3, 7, 8과 11, 12에서 제시된 것처럼 %습도, %충진성, %NDC의 관계에 대하여는 추가의 계산식이 필요하다. 본문의 식 1-4 및 부록의 퍼 A는 필요시마다 % MB점토, %추가 점토(ADC), 그리고 %NDC를 환산하는데 필요하다. 참고로, 본문의 그림 1를 참고하여 굴곡점인 8% NDC보다 많거나, 적은 것에 대한 선형방정식이 개

발되었으며, 48% 이상의 것에서는 방정식 7이 적용된다. 8% NDC이하에서는 방정식 9가 50%의 충진성까지 유용하고, 50%이상에서는 방정식 11이 적용된다.

표 A의 방정식 5, 7, 11은, 표 1의 6행과 2행 즉 실험수분과 계산수분의 비교에서 나타내어진 바와 같이, 본문 표 1의 실험 data와 밀접하게 연관되어 있다. 더우기나, %수분의 계산치와 실험치의 오차는 표 1의 7행에서 알 수 있는 것과 같이 주로 ±0.05%이내이다.

방정식 5, 7, 9, 11은, %NDC를 %MB의 실험치로부터 방정식 1에 의하여 얻었을 때, 측정된 %충진성을 얻기 위하여 필요한 %의 수분흡수를 계산하는데 사용된다. 이렇게 하여 계산된 수분흡수치는 본문에 기술한 수분지수를 얻는데 사용된다.

방정식 6, 8, 10, 12는 방정식 5, 7, 9, 11을 다른 목적을 위하여 재 배열한 것이다. 이 때, %NDC는 시험%수분과 시험%충진성으로부터 단독으로 계산된다. 이렇게 계산된 %NDC는 본문에 기술한 점토지수를 얻는데 사용된다. 방정식 5~12는 특히 50% NaB /50% CaB의 혼합점토를 배합한 주물사에 적용된다. 100% NaB점토를 배합한 주물사에 대한 방정식은 표 B에 정리되었으며, 방정식 13~22는 NaB /CaB의 경우처럼 8%NDC 근처에 굴곡점이 있다. 또한, 점토에 대한 습도-충진성의 관계도 48%의 충진성이상에서 변한다. 방정식 13, 15, 17, 19, 21은 그림7, 8의 선들을 정의한다. 이들 방정식은 %NDC를 계산할 목적으로 방정식 14, 16, 18, 20, 22를 유도하기 위하여 단순히 재배열한 것이다.

표 C에는 100% CaB를 배합한 주물사에 대한 계산식이 정리되었으며, 방정식 23~26으로 나타낸다. 이들 주물사는 앞의 두 경우에서와 같은 8%NDC 근처에서의 굴곡점을 보여주지 않는다. 그러나, 순분관계식은, NaB에서는 48%의 충진성에서 변화를 가지는데 비하여, 46%의 충진성에서 변한다. 방정식 23과 25는 그림 11과 12의 선들을 정의한다. 방정식 24와 26은, %MB의 시험치를 이용하여 방정식 1에 의하여 %NDC를 계산할 수 없을 때, %NDC를 계산하기 위하여 방정식 23과 26을 재배열한 것이다.

CaB는 같은 점토량에서 주어진 충진성을 얻기 위하여는 NaB보다 적은 수분량을 필요로하기 때문에, 표 D의 방정식 27~30은 그 수분차이를 수분차를 나타낸다.

방정식 1~31은 수분, 점토량, 생형강도 및 충전성을 관련시키는 방정식을 확장하기에 가장적당한 선형방정식으로 개발되었다.<sup>1~4</sup> 방정식의 기초가 된 도표는 직접 그림1-15에서 읽을 수 있다.

**참 고 문 헌**

1. T. S. Shih, R. A. Green, and R. W. Heine; "Evaluation of 8-15% Bentonite Content Green Sands Properties and Clay Behavior: Part III - Mulling Effect and Dry Properties" AFS Congress, Minneapolis (1986).
2. T. S. Shih, R. A. Green, and R. W. Heine; "Evaluation of Green Sand Properties and Clay Behavior of 7 to 15% Bentonite Levels - Part 1." AFS Transaction, pp 467-474(1984)
3. T. S. Shih, R. W. Heine, and R. A. Green; "Evaluation of Green Sand Properties and Clay Behavior of 8-15% Bentonite Levels - Part II." AFS Transaction, pp 689-698(1985)"
4. T. S. Shih, R. A. Green, and R. W. Heine; "Evaluation of 8-15% Bentonite Content Green Sand Properties and Clay Behavior: Part IV - Summary," AFS Transactions. (1987).
5. C. E. Wenninger and A. P. Volimar, "A New Control Tool : A Graph for Evaluating Efficiencies of Available Bentonite Within Foundry System Sands." AFS Transactions. p 917(1970).
6. R. W. Heine. "Sand-Clay-Moisture Control Graphs," AFS Transaction 88-84. p. 197-208.

**國內外鑄物關係行事  
1990**

**5월22일 ~ 5월25일**

日本鑄物協會  
第117回 全國講演大會  
名古屋 日本

**5월27일 ~ 5월30일**

European Investment Caster's Federation  
European Investment Casting Conference Lugano, Switzerland.

**5월28일 ~ 6월1일**

13th International Pressure Diecasting conference Munich, West Germany

**5월29일 ~ 6월1일**

International Magnesium Association  
47th Annual World Magnesium Conference Cannes, France

**6월8일 ~ 6월14일**

Foundry and Forging Expo China '90  
北京, 中國

**6월21일 ~ 6월22일**

Institute of British Foundrymen  
Annual Conference  
Nottingham, England

**7월6일 ~ 7월7일**

한국주조공학회  
하계기술강연회  
속리산, 충북

**9월10일 ~ 9월11일**

The International Meehanite Metal Co. Ltd.  
54th Meehanite Conference  
Birmingham, England.

**9월23일 ~ 9월26일**

CIATF  
57th World Foundry Congress  
大阪, 日本  
(자세한 내용을 원하시면 학회로 연락바람).