

工學碩士 學位論文

국내 강모래의 다짐특성 분석에 관한 연구

Development on degree of compaction measurement
equipment for backfill material of underground
electric distribution pipe

慶州大學校大學院

土 木 工 學 科

金 京 泰

2005年 12月

국내 강모래의 다짐특성 분석에 관한 연구

Development on degree of compaction measurement
equipment for backfill material of underground
electric distribution pipe

指導教授 姜 普 淳

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2005年 12月

慶州大學校大學院

土 木 工 學 科

金 京 泰

金京泰의 碩士學位論文을 認准함

審 査 委 員 長 _____ 印

審 査 委 員 _____ 印

審 査 委 員 _____ 印

慶州大學校 大學院

2005年 12月

Development on degree of compaction measurement equipment for backfill material of underground electric distribution pipe

Kim, Kyoung Tae

Department of Civil Engineering

The Graduate School

Gyeongju University

(Supervised by Professor KANG, Bo-Soon)

Underground construction for power distribution system enlarge the scope over several kilometers with social demand and as an increasing construction scale quality control is coming to the fore.

However degree of compaction measurement for backfill material of underground electric distribution pipe is not well systemic. This is the important item of quality control of underground construction.

Because there is no equipment what stand to its trait, after finished the construction, road breakage and vehicle load can be occur damage of underground electric distribution pipe. In addition its breakage result in an electricity failure by seepaging rainwater the inside of the pipe.

For improving these problems, it is in urgent need of development of degree of compaction measurement in backfill that is attempting high quality control and construction elevation in the worst condition of construction of underground power distribution system has done in a short time at night decreasing traffic volume.

목 차

목 차	i
표 목 차	ii
그 립 목 차	iii
제 1장. 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	3
1.2 이론적 고찰	4
1.2.1 다짐이론	4
1.3 기존의 다짐도 측정방법	5
가 모래 치환법	7
나 고무막법	7
다 석고 취환법	10
라 액체 취환법	10
마 RI 시험법	14
1.4 지중배전공사에 있어서의 다짐도 측정	16
1.4.1 지중배전관로의 굴착단면 설계	16
1.4.2 되메움재 및 다짐도 특성	16
가 한국전력공사	17
나 다른 공사의 다짐도 기준	17

제 2장 본 론	18
2.1 실험 계획	28
2.2 다짐도 측정장치	32
2.2.1 측정장치의 구성	32
2.2.2 측정 원리	32
2.3 시험 시료	33
제 3장 실험 및 결과	44
3.1 기본물성 시험	46
3.2 시험 방법	47
3.3 실험 결과	49
가 최적의 콘 형태와 스프링 조합 찾기	53
나 스프링 6, 7kg + 콘 5, 6과 스프링 9kg + 콘 2 조합에 대한 적용성 실험	55
다 스프링 9kg + 콘 2번 조합에 대한 각 지역 모래에 대한 관입시험	55
라 스프링 13, 14, 17kg + 콘 2번 조합찾기 실험	57
마 스프링 17kg + 콘 2번 조합 실험 실험	57
3.4 분석 및 고찰	49
3.4.1 데이터 분석	49
제 4장 결 론	83
참고문헌	83

표 목차

표 1. 실내 다짐방법의 종류(KS F2312)	3
표 2. 각공사별 되메우기 작업의 다짐도 판정기준	11
표 3. 경주 근교 강모래의 물성치	20
표 4. 강원도 원주시 섬강 모래의 물성치	20
표 5. 전북 남원시 섬진강 모래의 물성치	20
표 6. 충남 금산군 금강 모래의 물성치	21
표 7. 충북 충주시 남한강 모래의 물성치	21
표 8. 경남 합천군 황강 모래의 물성치	21

그림 목차

그림 1. 다짐 곡선	4
그림 2. 모래의 다짐 곡선	5
그림 3. 투과형 수분계에 의한 함수량 측정원리의 모식도	8
그림 4. 산란형 수분계에 의한 함수량 측정원리의 모식도	9
그림 5. 함수량과 중성자 계수율비의 관계개념도	9
그림 6. 굴착단면도와 관로 표준단면	10
그림 7. 콘 관입형 다짐도 측정기	16
그림 8. 이중 경사식 콘	17
그림 9. 콘 관입형 다짐도 측정기의 운용	17
그림 10. 각 지방의 강모래	19
그림 11. 토조와 램머	22
그림 12. 강모래 다짐	23
그림 13. 계량	23
그림 14. 콘 관입 전	24
그림 15. 콘 관입 후	24
그림 16. 콘 1번 + 스프링 4kg	25
그림 17. 콘 2번 + 스프링 4kg	26
그림 18. 콘 3번 + 스프링 4kg	26
그림 19. 4번 + 스프링 4kg	27
그림 20. 5번 + 스프링 4kg	27
그림 21. 6번 + 스프링 4kg	28
그림 22. 1번 + 스프링 5kg	28
그림 23. 2번 + 스프링 5kg	29

그림 24. 콘 3번 + 스프링 5kg	29
그림 25. 콘 4번 + 스프링 5kg	30
그림 26. 콘 5번 + 스프링 5kg	30
그림 27. 콘 6번 + 스프링 5kg	31
그림 28. 콘 1번 + 스프링 6kg	31
그림 29. 2번 + 스프링 6kg	32
그림 30. 콘 3번 + 스프링 6kg	32
그림 31. 콘 4번 + 스프링 6kg	33
그림 32. 콘 5번 + 스프링 6kg	33
그림 33. 콘 6번 + 스프링 6kg	34
그림 34. 콘 1번 + 스프링 7kg	34
그림 35. 콘 2번 + 스프링 7kg	35
그림 36. 콘 3번 + 스프링 7kg	35
그림 37. 콘 4번 + 스프링 7kg	36
그림 38. 콘 5번 + 스프링 7kg	36
그림 39. 콘 6번 + 스프링 7kg	37
그림 40. 콘 1번 + 스프링 8kg	37
그림 41. 콘 2번 + 스프링 8kg	38
그림 42. 콘 3번 + 스프링 8kg	38
그림 43. 콘 4번 + 스프링 8kg	39
그림 44. 콘 5번 + 스프링 8kg	39
그림 45. 콘 6번 + 스프링 8kg	40
그림 46. 콘 1번 + 스프링 9kg	40
그림 47. 콘 2번 + 스프링 9kg	41
그림 48. 콘 3번 + 스프링 9kg	41

그림 49. 콘 4번 + 스프링 9kg	42
그림 50. 콘 5번 + 스프링 9kg	42
그림 51. 콘 6번 + 스프링 9kg	43
그림 52. 콘 1번 + 스프링 10kg	43
그림 53. 콘 2번 + 스프링 10kg	44
그림 54. 콘 3번 + 스프링 10kg	44
그림 55. 콘 4번 + 스프링 10kg	45
그림 56. 콘 5번 + 스프링 10kg	45
그림 57. 콘 6번 + 스프링 10kg	46
그림 58. 콘 5번 + 스프링 6kg	47
그림 59. 콘 6번 + 스프링 6kg	47
그림 60. 콘 5번 + 스프링 7kg	48
그림 61. 콘 5번 + 스프링 7kg	48
그림 62. 콘 5번 + 스프링 9kg	49
그림 63. 적용함수비 2 ~ 13%	50
그림 64. 적용함수비 2 ~ 3%미만	51
그림 65. 적용함수비 3 ~ 13%	51
그림 66. 적용함수비 3 ~ 13%	52
그림 67. 적용함수비 1 ~ 11%	53
그림 68. 적용함수비 1 ~ 3%미만	53
그림 69. 적용함수비 3 ~ 11%	54
그림 70. 적용함수비 3 ~ 11%	54
그림 71. 적용함수비 3 ~ 11%	55
그림 72. 적용함수비 3 ~ 11%	56
그림 73. 적용함수비 3 ~ 12%	57

그림 74. 적용함수비 3~12%	57
그림 75. 적용함수비 2~12%	58
그림 76. 적용함수비 2~3%미만	59
그림 77. 적용함수비 3~12%	59
그림 78. 적용함수비 3~12%	60
그림 79. 건조밀도에 대한 합침	61
그림 80. 건조밀도에 대한 합침	62
그림 81. 다짐도에 대한 합침	63
그림 82. 다짐도에 대한 합침	63
그림 83. 콘 2번 + 스프링 13kg	64
그림 84. 콘 2번 + 스프링 14kg	65
그림 85. 콘 2번 + 스프링 17kg	65
그림 86. 콘 2번 + 스프링 13kg	66
그림 87. 콘 2번 + 스프링 14kg	66
그림 88. 콘 2번 + 스프링 17kg	67
그림 89. 관입깊이에 대한 다짐도	68
그림 90. 관입깊이에 대한 건조밀도	68
그림 91. 관입깊이에 대한 다짐도	69
그림 92. 관입깊이에 대한 건조밀도	70
그림 93. 관입깊이에 대한 다짐도	70
그림 94. 관입깊이에 대한 건조밀도	71
그림 95. 관입깊이에 대한 다짐도	71
그림 96. 관입깊이에 대한 건조밀도	72
그림 97. 관입깊이에 대한 다짐도	73
그림 98. 관입깊이에 대한 건조밀도	73

그림 99. 관입깊이에 대한 다짐도	74
그림 100. 관입깊이에 대한 건조밀도	74
그림 101. 관입깊이에 대한 다짐도	75
그림 102. 관입깊이에 대한 다짐도	76
그림 103. 각 강별 건조밀도	77
그림 104. 건조밀도 종합	78
그림 105. 각 강별 다짐도	79
그림 106. 다짐도 종합	79
그림 107. 콘 2번 + 스프링 17kg	80

제 1장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

지중 배전 공사의 규모가 나날이 커짐에 따라 그에 따른 품질질관리의 중요성이 증가되고 있으며, 되메움재에 대한 다짐도 판정의 신뢰성과일관성이 확보된 측정장비가 필요하게 되었다. 특히, 지중배전공사의 중요한 품질관리 항목인 배전관로 되메움재의 다짐도 판정이 공사의 특성 때문에 체계적으로 이루어지지 않아 지중배설관이 파손되는 경우가 매우 빈번하고, 그 결과, 되메움재의 다짐도 판정 불량은 유지보수비용의 증대뿐만 아니라 계통의 신뢰도에도 큰 영향을 미치고 있다.

또한, 현장에서 손쉬운 다짐도 판정방법이 전무하다 보니 지중배전공사 완료 후에 도로와 배전관로 내부로 우수가 스며들어 정전사고의 원인이 되기도 한다. 더욱이, 관로 파손으로 인해 스며든 우수가 맨홀내부로 침투하여 분기별 맨홀청소비용 또한 증가하고 있는 상황이다.

따라서, 현재 지중배전공사가 주로 야간에 차량소통이 적은 심야시간을 이용하여 단시간에 이루어지는 상태로 볼 때 신속한 다짐도 판정에 의한 질 높은 품질관리와 시공성 향상 그리고, 유지보수비용절감을 위해 손쉬운 되메움재 다짐도 판정장비의 개발이 절실하다. 이러한 필요성으로 인해 본 연구가 시작되었다.

지중배전관로 시공시에 되메움재의 다짐도 관리는 도로의 파손 및 차량하중으로 인한 지중배전관로의 파손을 야기하는 직접적인 요인으로서 다짐도에 대한 품질관리의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않다.

그러나, 지중배전관로 공사는 차량소통이 적은 심야에 단시간에 걸쳐 공사를 마무리해야 하는 최악의 조건에서도 되메움재의 품질관리를 적절하게 수행

해야 하기 때문에 현장 감독자들이 적정 품질관리에 많은 어려움을 겪고 있다. 더욱이, 기존의 다짐도 측정 장비는 측정시간이 오래 걸리고 조작이 불편하며 장비가격이 비싸다는 단점을 가지고 있어 지중배전관로 되메움재의 다짐도 품질관리에는 적합하지 않아 현장 감독자들은 적합한 다짐도 측정 장비를 요구하고 있는 것이 현 실정이다.

1.2 이론적 고찰

1.2.1 다짐 이론

흙으로 제방을 쌓거나 토질구조물을 축조하기 위해 성토를 할 때, 이들이 일정한 크기 이상의 강도를 가지고 과도한 침하가 일어나지 않도록 하기 위하여 흔히 다짐(compaction)을 한다.

다짐이란 램머 또는 롤러 또는 진동기와 같은 장비를 사용하여 흙 속의 공기량을 감소시키고 흙입자를 근접시킴으로써 흙의 건조단위중량을 증가시키는 것을 말한다. 이 때 흙속의 물의 부피는 변하지 않는다. 흙을 다지면 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

- ① 흙의 강도증가
- ② 과도한 침하방지 및 감소
- ③ 투수성의 감소
- ④ 지지력의 증가
- ⑤ 동상이나 수축 등으로 인한 바람직하지 않은 부피변화의 억제

흙의 다져지는 정도는 건조단위중량(γ_d)으로 표시하며, 다진 후 얻어지는 건조단위중량은 흙의 종류, 함수비 그리고 다짐장비에 의해 제공되는 에너지 등에 좌우된다.

흙의 다짐특성은 실내다짐시험을 통하여 파악할 수 있다. 다짐시험은 1933년 경에 Proctor가 흙댐의 시공관리를 위하여 제안한 바 있는데, 이 시험은 현장에서 다짐장비로 다지는 것과 비슷한 정도의 단위중량이 실험실에서 얻어지도록 한다. 실험실시험은 현장시험보다 경제적이고 신속하기 때문에 자주 이용된다.

우리나라에서는 KS F2312에 다짐시험방법이 규정되어 있다. 이 규정에 의하면 다짐시험은 몰드지름, 램머무게, 낙하고, 다짐층수, 타격횟수, 사용시료 등에 따라 표 1과 같이 5가지 방법으로 구분된다.

흙을 다진 후에는 다진 흙의 전체단위중량과 함수비를 측정하여 다음 식으로 건조단위중량을 산출한다.

표 1. 실내 다짐방법의 종류(KS F2312)

다짐방법		램머무게 (kgf)	낙하고 (cm)	몰드체적 (cm ³)	다짐방법		허용최대입경 (mm)
					층 수	타격수	
표 준	A	2.5	30	1000	3	25	19.0
	B	4.5	45	2209	3	55	37.5
수 정	C	2.5	30	1000	5	25	19.0
	D	4.5	45	2209	5	55	19.0
	E	4.5	45	2209	3	92	37.5

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w}$$

여기서, γ_d : 건조단위중량 (g/cm^3)

γ_t : 습윤단위중량 (g/cm^3)

w : 함수비 (%)

주어진 흙에 대하여 함수비를 변화시키면서 적어도 5회 이상 실험을 반복하여 얻은 결과로부터 함수비와 건조단위중량의 관계를 그림으로 나타내면 그림 1과 같이 되며, 이와 같은 곡선을 다짐곡선 또는 Proctor곡선이라고 부른다.

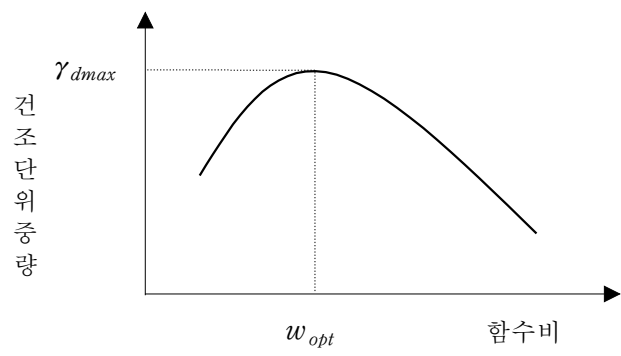


그림 1 다짐 곡선

그림 1에서 최대 건조단위중량(γ_{dmax})이 얻어질 때의 함수비를 최적함수비(w_{opt})라고 한다. 흙의 다짐을 할 때 같은 다짐에너지로 최대의 다짐효과를 얻으려면 주어진 흙의 함수비를 최적함수비가 되도록 하여야 한다. 이 최적함수비는 다짐에너지의 크기에 따라서 변하는데, 다짐에너지가 커지면 커질수록 최적 함수비는 감소하고 최대 건조단위중량은 증가한다.

최적함수비 개념은 입자가 섞이지 않은 깨끗한 모래 또는 자갈질의 흙, 즉 GW, GP, SW, SP 등에 속하는 흙에는 적용할 수 없다. 이런 종류의 흙에서는 완전히 건조한 상태이거나 완전히 포화된 상태에서 보다 큰 건조단위중량을 얻을 수 있으며, 함수비가 그 중간 상태일 경우 오히려 낮은 건조단위중량을 얻는다. (그림 2)

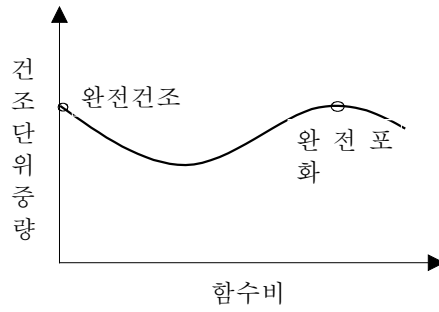


그림 2 모래의 다짐 곡선

실내다짐 실험결과는 현장에서의 다짐재료의 선정 또는 분류를 위하여 이용되고, 현장에서의 다짐 정도를 상대 다짐도(relative compaction)로서 나타낼 수 있다.

$$\text{상대다짐도}(\%) = \frac{\text{다짐시공후의 현장건조단위중량}}{\text{실내시험의 최대건조단위중량}} = \frac{\gamma_{d(field)}}{\gamma_{dmax}} \times 100$$

현장에서의 다짐시공방법을 규정할 경우에 상대다짐도와 다짐함수비를 명시하게 되는데, 예를 들면 상대다짐도 90%이상, 다짐함수비는 최적함수비의 $\pm 2\%$ 이내 등으로 규정한다.

1.3 기존의 다짐도 측정방법

단위중량은 흙이 교란되지 않고 본래의 구조골격을 유지하고 있는 상태로 현장에서 측정해야 신뢰성 있는 값을 얻을 수 있다. 그러나 현장에서 소규모 시험공을 굴착하고 부피를 측정하기가 쉽지 않으므로 현장에서 이용 가능한 기구에 따라 여러 가지 방법이 파생되고 있고, 대체로 다음과 같은 방법들이 자주 이용되고 있다.

가. 모래 치환법

모래 치환법은 현장에서 간편하게 단위중량을 결정할 수 있는 방법으로 흙댐, 도로성토, 구조물의 뒷채움 등을 시공할 때에 다짐흙의 품질관리에 널리 사용되고 있다. 이 방법은 일반적으로 불포화 지반에 적용되며 연약한 지반이나 굴착하면 물이 스며 나올 수 있는 곳에서는 시험의 결과가 영향을 받으므로 주의를 요한다. 모래치환법의 장비와 시험방법은 KS F2311에 규정되어 있다.

나. 고무막법

고무막법은 시험공을 굴착하고 시료의 무게와 함수비를 측정한 후에 끝에 고무막이 붙어있고 부피가 약 10리터인 실린더의 한 면을 지표에 때고 피스톤을 누르면 고무막이 굴착면에 밀착하여 굴착부 부피만큼 실린더내의 액체(보통 물을 사용)가 흘러나간다. 따라서 피스톤의 이동거리에 단면적을 곱하면 굴착부의 부피가 구해진다. 작업속도가 빠르고 결과의 신뢰성이 높은 방법이다.

고무막은 약 0.25mm이상 두꺼워야 하고 판판한 상태로 접착되어 있어야 한다. 시험공을 굴착하였을 때에 굴착벽이 허물어지지 않으면 사질토나 점성토에 모두 적합하다. 특히 자갈이나 돌맹이 등 굵은 입자가 섞인 세립지반에서 좋은 결과를 나타낸다. 모서리가 날카로운 입자가 있는 지반에서는 고무막이 찢어질 수 있다.

다. 석고 치환법

현장에 굴착한 시험공을 반죽상태의 석고로 채워서 굳힌 후에 석고덩이의 부피를 액침법으로 측정하는 방법이다. 다소 번거로움이 있으나 현장 여건에 따라 실시할 수 있다.

라. 액체 치환법

현장에 굴착한 시험공에 부드러운 고무막이나 비닐 등을 놓고 물 등의 액체로 채워서 시험굴의 부피를 측정하는 방법이다. 고무막이나 비닐은 굴착면에 완전히 밀착될 수 있는 것이어야 한다. 미세한 공간이 남아 있을 가능성이 있어서 신뢰성이 다소 떨어지긴 하나 특별한 도구 없이도 손쉽게 단위중량을 구할 수 있는 장점이 있다.

마. RI 시험법

1) 밀도 측정의 원리

감마선은 물질내를 통과할 때 원자의 궤도전자와의 사이에 여러종류의 상호작용을 일으키며 흡의 밀도측정에는 상호작용 중에 주로 콤프턴효과를 이용하고 있다. 그림 5 및 그림 6의 밀도측정원리의 모식도에서처럼 콤프턴효과란 감마선이 에너지의 일부를 궤도전자에 주고 스스로는 작은 에너지를 가져 진행방향을 변화시키는 현상을 말한다. 물질의 궤도전자의 수가 많을수록 콤프턴효과는 일어나기 쉬워진다. 흡을 구성하는 원자의 궤도전자의 총수는 양자와 동일한 수 이므로 흡의 질량과 거의 비례한다. 따라서 콤프턴효과가 일어나기 쉽다는 것은 흡의 질량에 비례한다고 볼 수 있다.

흡속에 방출된 감마선은 흡의 습윤밀도가 높을수록 콤프턴효과에 의한 산란의 반복에 의해 에너지가 감소하고 최종적으로 전에너지를 전자에 주고 소멸되고 일부는 지표로 방출을 한다. 따라서 그림 7에서처럼 습윤밀도가 높을수록 RI계기가 측정하는 감마선의 수는 작아진다. RI계기는 이 성질을 이용하여 흡의 습윤밀도를 측정하는 것이다.

투과형 밀도계와 산란형밀도계는 콤프턴효과를 이용하는 기본원리는 같다. 선원과 검출기의 배치에 따라 투과형은 선원으로부터 직접투과해온 감마선과 산란한 감마선을 감지하는 구조이고, 산란형은 산란선만을 감지하는 구조로 되어 있다.

2) 함수량 측정의 원리

흙의 함수량측정에는 중성자선원으로부터 방출되는 중성자와 물질을 구성하는 원자의 원자핵과의 상호작용을 이용하고 있다. 그림 8, 그림 9에 함수량 측정원리의 모식도를 나타낸다. 선원으로부터 방출되는 고속의 중성자(速중성자)는 질량이 같은 정도의 수소원자핵과 충돌하면 마치 옥돌처럼 다른 원자핵의 충돌보다 크게 에너지를 잃는다. 수소 원자(H)가 많이 존재하는 만큼 충돌의 반복에 의해 급격하게 에너지를 잃어, 마침내 열중성자로 불리는 에너지의 낮은 중성자가 된다. 따라서, 땅 속의 수소 원자의 대부분이 물(H₂O)을 구성하는 원소로서 존재하고 있으므로, 열중성자가 생기는 비율을 보는 것에 의해 함수량을 측정할 수가 있다.

투과형 수분계는 열중성자까지는 안 되고 에너지가 높은 채 지중을 투과 해온 速중성자를 검출하는 구조로 되어 있고, 그림 10과 같이 땅 속의 함수량의 증가에 수반해 측정되는 중성자수는 적게 된다. 한편, 산란형 수분계는 땅 속에서 감속·산란되어 지표면으로 방출된 열중성자를 검출하는 것으로부터, 땅 속의 함수량의 증가에 수반해 측정되는 중성자수는 많아진다.

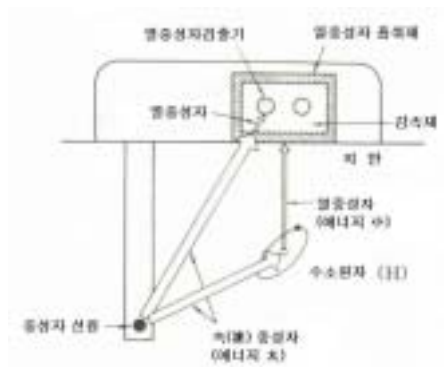


그림 3 투과형 수분계에 의한
함수량 측정원리의 모식도

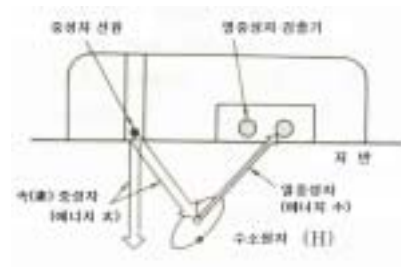


그림 4 산란형 수분계에 의한
함수량 측정원리의 모식도

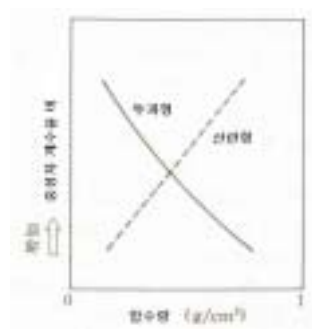


그림 5 함수량과
중성자 계수율비의
관계개념도

1.4 지중배전공사에 있어서의 다짐도 측정

본 절에서는 지중배전공사의 진행 형태와 굴착단면 및 관재 배치 그리고 되메움재에 대해서 설명하고, 되메움재의 다짐도 측정에 대해 설명하고자 한다.

1.4.1 지중배전관로의 굴착단면 설계

관로의 굴착단면은 간단히 【굴착깊이 계산 → 굴착 저폭 계산 → 도로굴착 폭 계산】 순으로 설계된다.

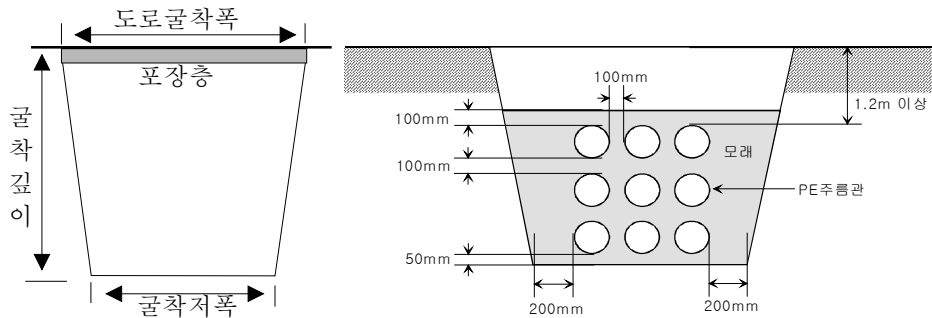


그림 6 굴착단면도와 관로 표준단면

1.4.2 되메움재 및 다짐도 측정

가. 한국전력공사

되메우기 재료로는 「지중배전 설계편람」(조성수, 1999)에 기술되어 있는 모래 또는 양질의 토사를 사용한다. 다짐도 기준은 「지중배전공사의 경제적 시공을 위한 신기술 개발」(이대수, 2002)의 연구내용을 참고로 하여 85%이상으로 다지면 도로의 침하나 관재의 파괴에 영향이 적을 것으로 사려된다.

되메움하는 방법은 그림 6에서 처럼 3단3열 배열일 경우 굴착단면 최하단에 50mm의 모래를 깔고 관로 1단을 설치한 후에 모래를 관로 위 10cm까지 되메움하고 진동 다짐기나 발다짐으로서 되메움하는 식으로 2단, 3단까지 되메움하는 형태를 취하고 있으며, 맨 마지막으로 도로가 A-1급 아스팔트 포장일 경우, 최상단 관로에서 도로층 전까지 약 40cm의 되메움재가 포설되고 다짐된다. 그 후에 다짐도 측정을 실시하고 있으며 대개 들밀도 시험기를 이용한다. 그러나, 들밀도 시험기는 최소한 24시간의 소요시간이 걸리며 운용방법 또한 복잡하여 택지 조성지나 차량소통이 없는 곳에서의 지중배전공사와 같이 시간적·공간적 여유가 많은 곳에서는 들밀도 시험기를 이용하여 다짐도 측정을 실시 할 수는 있으나, 도로에서의 긴급복구 공사와 같이 차량소통에 불편을 주지 않고 공사를 진행하기 위해 야간에 단시간에

공사를 완료해야 하는 특수성을 가진 경우에는 되메움재의 다짐도 측정이 제대로 이루어질 수 없는 것이 현 실정이며, 현재 운용되고 있는 다짐도 측정장비는 이러한 현장상황을 만족시켜 줄 수 없어 새로운 측정장비의 개발이 필요한 실정이다.

나. 다른 공사의 다짐도 기준

표 2. 각공사별 되메우기 작업의 다짐도 판정기준

각 공사별 되메우기 작업의 다짐도 판정기준	
토목공사(일반)	- 15cm 두께의 층으로 고르고, 제자리에서 매질과 다지기를 해야 하며, 각 층은 적합한 다지기 장비로 90%이상의 다짐도가 되게 다져야 한다. - 구조물 하부에서 상부의 초소 30cm두께는 95%이상의 다짐도가 되게 다져야 한다.
도로공사	- 되메우기 부위가 도로의 흙쌓기부 내에 위치하여 교통하중의 영향이 미치는 경우에는 1층의 다짐 완료 후 두께가 20cm 이하이어야 하며, 각 층마다 흙의 다짐시험C, D 또는 E 방법에 의하여 정해진 최대건조밀도의 95%이상의 밀도가 되도록 균일하게 다져야 한다
상수도 공사	- 한 층을 30cm 이하로 펴서 깔고 고른 뒤 90%이상의 다짐율을 얻을 수 있도록 다져야 한다. 되메우기에 사용하는 재료가 모래인 경우에는 충분한 물다짐을 시행하고 필요하면 더돈기를 시행하여야 한다.
건설공사 (한국토지공사)	1. 도로부 되메우기 - 도로부의 되메우기는 전 구간에 걸쳐 다진 후의 1층의 시공두께가 20cm 이하가 되도록 부설하며 각층의 다짐도는 KS F 2312에 의하여 D다짐으로 정해지는 최대건조밀도의 95%이상 되도록 균일하게 다져야 한다. 2. 구조물 되메우기 - 구조물 되메우기는 전 구간에 걸쳐 다진 후의 1층의 시공두께가 20cm이하가 되도록 부설하며 각층의 다짐도는 상층부분은 KS F 2312에 의하여 D다짐으로 정해지는 최대건조밀도의 95%이상, 하층부분은 KS F 2312에 의하여 A다짐으로 정해지는 최대건조밀도의 90%이상이 되도록 균일하게 다져야 한다.

고속도로공사 (부대시설편)	- 포장하부는 점성토일 경우 90%이상이 되도록, 비점성토일 경우 95%이상이 되도록 균일하게 다져야한다. - 보도 및 기타지역은 점성토일 경우 85%이상이 되도록, 비점성토일 경우 90%이상이 되도록 균일하게 다져야한다.
댐 및 상수도 공사	- 되메우기 다짐에 있어서 도로부의 다짐도는 KS F 2312에 의하여 D다짐으로 정해지는 최대 건조밀도의 95%이상이 되도록 균일하게 다져야 하며, 도로부 이외의 부분의 다짐도는 KS F 2312에 의하여 A다짐으로 정해지는 최대건조밀도 90%이상이 되도록 균일하게 다져야한다.
하수도공사 시공관리	- 관주위 부분은 최대건조밀도의 90% 이상이 되게 다져야 하며, 관상단 및 노반부분은 최대건조밀도의 95%이상이 되게 다져야 한다.
대한주택공사	- 지반면이 침하하지 않도록 되메우기용 흙을 다짐 기구를 이용하여 밀실하게 다진다. 이때, 다짐두께는 아스팔트 콘크리트 포장면 하부의 경우 20cm로 하고, 보도 및 기타 지역은 30cm로 한다. 다짐두께는 다짐 완료된 상태의 두께를 말한다. - 아스팔트 콘크리트 포장면 하부는 점성토일 경우 90%, 비점성토일 경우 95%가 되게 다지며, 보도 및 기타지역은 점성토일 경우 85%, 비점성토일 경우 90%가 되게 다진다.
서울지방 국토관리청	- 1층의 다짐완료 두께는 20cm 이하이어야 하며, 각 층은 흙의 다짐시험 E방법에 의해 정해진 최대건조 밀도의 95%이상의 밀도로 균일하게 다져져야 한다.

제 2장 본 론

콘 관입시험은 로드와 콘 저항체를 부착하여 지반에 삽입한 상태에서 관입이나 인발 또는 회전시키면서 그 저항을 측정하여 지층의 분포나 지지력, 상대 다짐도 등을 조사하는 사운딩(Sounding)시험으로 지반조사의 초기에 지반의 개황을 파악하기에 적합한 시험이다. 이러한 사운딩은 현장의 본래 위치(깊이)에 있는 지반에서 직접 측정하기 때문에 원위치 시험으로서의 신뢰성이 높다.

측정심도가 한정되지만, 보링을 하지 않으므로 간단하고 비용이 적게 든다. 깊이 방향으로 연속적으로 지층의 강성도, 성토의 다짐상태, 지층의 배열, 지반개량 효과, 압밀에 의한 강도증가 등을 판정할 때에 적용할 수 있다. 또한, 지표부근에서 실시하여 교통량하중의 영향에 의한 주행성을 판정할 수 있다.

콘 관입시험의 결과는 콘의 치수와 표면상태 및 각도에 대해서 민감하므로 시험 전에 반드시 콘의 상태 및 콘의 선단각과 표면 상태를 확인해야 한다. 콘 관입시험은 다음의 두 가지 방법으로 나뉘어진다.

- 정적 콘관입시험
- 동적 콘관입시험

정적 콘관입시험은 연약한 점토지반에 적합하며 원형콘을 일정한 속도로 지반에 압입하면서 관입저항을 구하여 지반의 성상을 구하는 시험이다. 동적 콘관입시험은 모래나 굳은 점토지반에 적합하며 일정한 중량의 해머를 자유낙하시켜서 콘을 일정한 깊이까지 관입시키는데 필요한 타격수로부터 관입저항을 구하는 실험이다.

본 실험에서는 모래 지반에 더 적합한 동적 콘 관입시험의 형태로 기계를 제작하였으며, 중량을 가진 해머로 관입시키는 방법은 운용성이 떨어지기 때

문에 용수철을 이용하여 콘저항체를 지반에 관입시키는 방법을 적용하였다. 다짐이 잘된 지반은 관입량이 적고, 다짐이 덜 된 지반은 관입량 클 것이라는 가정하에 실험을 실시하였고, 관입량과 지반의 상대 다짐도를 측정하여 상관 관계를 분석하였다.

2.1 실험 계획

- 1) 콘 종류 : No 1, 2, 3, 4, 5, 6 (6 종류)
- 2) 스프링 종류 : 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 17 kg (10 종류)
- 3) 함수비 변화 : 2 ~ 13% (시험 특성에 적합하게 선별운용)
- 4) 실험다짐도 범위 : 약 75% ~ 95% (시험 특성에 적합하게 선별운용)

위와 같이 여러 종류의 콘 형태와 스프링을 조합하여 실험특성에 맞는 함수비 범위 및 다짐도 범위를 선택하여 실험을 실시하였고, 구체적인 실험진행 순서는 다음과 같다.

(1) 최적의 콘 형태와 스프링 조합 찾기 :

총 6종류의 콘과 4~10kg까지 7종류의 스프링을 조합하면 42가지의 조합형태가 나타나는데, 이 조합 중 다짐도와 관입깊이 간에 최적의 상관관계를 보이는 조합을 찾는 실험이다. 시료의 함수비는 5%로 하여 배합하였고, 다짐도 약 80% ~ 95%가 되도록 토조 안에 다짐하여 실험용 공시체를 만든 다음, 관입시험을 실시하였다.

(2) 스프링 6.7kg+콘 5, 6번과 스프링 9kg+콘 2번 조합에 대한 적용성 실험:

(1)번의 실험 결과로부터 가장 좋은 데이터 값을 보인 위의 조합을 가지고, 함수비 5%, 10%로 배합한 모래를 다짐도 75%~100%까지 변화시켜 관입시험을 실시하였다.

(3) 스프링 9kg+콘 2번 조합에 대한 각 지역 모래에 대한 관입시험 :

(2)번 실험으로부터 가장 우수한 조합으로 평가된 스프링 9kg+콘 2번 조합에 대하여 각 지역에서 채취된 강모래를 가지고 함수비 2%~13%, 다짐도 75%~90%로 변화시켜 가면서 다짐도와 관입깊이에 대한 상관관계식을 구했다.

(4) 스프링 13, 14, 17kg + 콘 2번 조합 찾기 실험 :

다짐도 측정 범위를 75%~95%까지 확대하기 위하여 3종류의 강한 스프링과 콘 2번 조합으로 실험을 실시하였으며, 함수비 11%~13%, 다짐도 80%~95%로 변화시켜 가면서 최적의 조합을 구했다.

(5) 스프링 17kg + 콘 2번 조합 실험 :

(4)번 실험 결과 가장 좋은 조합인 스프링 17kg + 콘 2번 조합을 가지고 각 지역에서 채취된 강모래를 함수비 3%~12%, 다짐도 범위 75%~95%로 변화시켜 가면서 다짐도와 관입깊이에 대한 상관관계식을 구했다.

2.2 다짐도 측정장비

2.2.1 측정장비의 구성

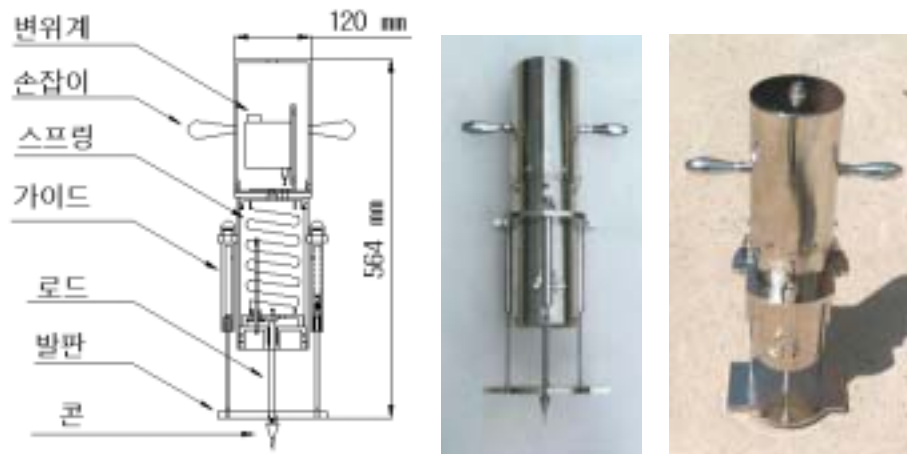


그림 7 콘 관입형 다짐도 측정기

- 1) 무게 : 6.3 kg
- 2) 폭×높이 : 120 × 564 mm
- 3) 변위계 : Tokyo Sokki사의 DP-500C 모델 (최대 변위 50cm)
- 4) 손잡이 : 길이 7cm, 기계의 운반이나 관입시 사용
- 5) 스프링 : 내경 74 mm × 길이 210 mm , 110mm 압축시 17kg
- 6) 가이드 : 본체의 흔들림 방지, 콘의 수직관입을 유도함.

7) 로드 : 길이 10cm, 콘의 관입을 지지

8.) 발판 : 기기의 흔들림 방지, 기기의 지반밀착 유도

9.) 콘 : 이중 경사식 콘, 콘 2번

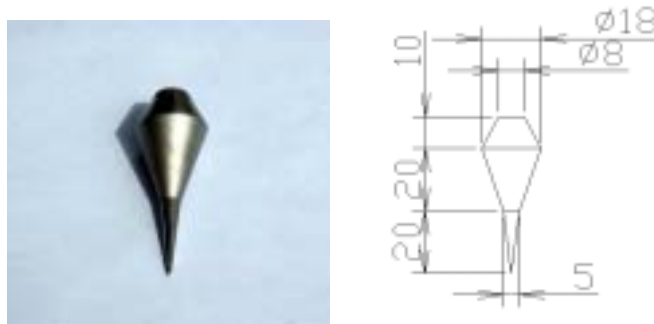


그림 8 이중 경사식 콘

2.2.2 측정 원리

1.) 콘, 로드 의 관입깊이 및 센서부의 운용원리

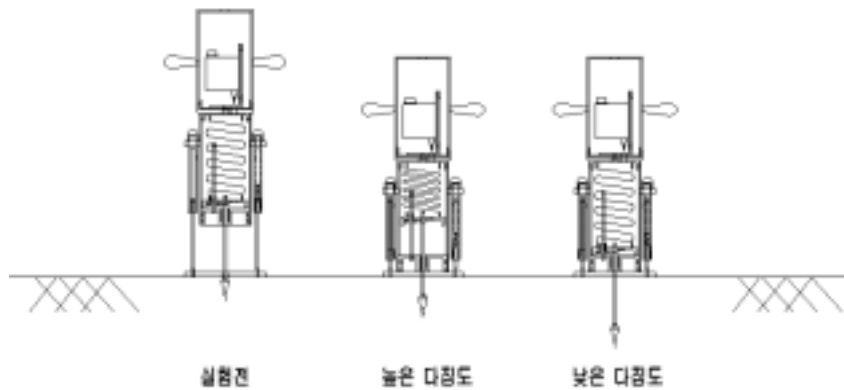


그림 9 콘 관입형 다짐도 측정기의 운용

장비의 발판부를 지반에 밀착시키고, 손잡이를 이용해 장비를 하향 수직방향으로 장비의 하부가 발판에 닿을 때 까지 힘을 가한다.

지반의 다짐도가 높으면 콘이 지반에 관입되면서 지반의 반력이 로드를 통해 스프링을 압축시킨다. 다짐도가 낮으면 지반의 반력이 약하게 작용하여 스프링의 압축량이 적고 콘의 관입량은 많아진다.

이 관입량을 변위계를 통해 읽어 들여 데이터 로거로 계산하면, 지반의 다짐도를 계산할 수 있다.

2.) 회귀분석에 의한 공식 적용방법

콘 관입형 다짐도 측정기의 실험결과를 회귀분석한 결과, 다음과 같은 공식으로 다짐도를 계산할 수 있음을 알 수 있었다.

$$y = -2.164x + 97.5231$$

여기서 , y : 다짐도 (%)

x : 콘 관입깊이 (cm)

2.3 시험시료

본 연구에서는 일반적인 되메우기 재료로 사용되는 강모래의 기본 물성 및 다짐특성을 규명하고자 국내 6개 지역에 분포하는 시료를 채취하여 시험을 하였다. 시험에 사용된 시료는 경북 경주근교, 강원도 원주시 섬강, 전북 남원시 섬진강, 충남 금산군 금강, 충북 충주시 남한강, 경남 합천군 황강의 교란시료를 이용하였다.

제 3장 실험 및 결과

3.1. 기본물성시험

실험에 사용한 퇴매움재는 지중배전공사에 일반적으로 사용하는 강모래를 이용하였으며, 각 지방에서 채취한 강모래를 실험에 사용하였고, 강모래의 기본물성 시험결과 6개 지역의 비중은 2.63~2.67의 범위로 유사하게 나타났으며, 금강시료가 2.67로 가장 크게 나타났다. 균등계수는 2.39~6.40의 분포를 나타내며, 곡률계수는 0.97~1.75의 범위로 나타났다.



그림 10 각 지방의 강모래

가. 실험 1, 2 에 사용된 강모래

경주 근교에서 채취한 강모래를 사용하였으며, 실험 1, 2번의 최적 조합 찾기 실험에 이용했고, 주요 특성은 다음과 같다.

표 3 경주 근교 강모래의 물성치

분 류	물성치
Cu (균등 계수)	6.4
Cg (곡률 계수)	1.23
흙의 분류	SW
Gs (비중)	2.64
γ_{dmax} (최대건조단위중량)	1.8

나. 실험 3, 4, 5에 사용된 강모래

각 도의 대표적인 강모래 채취장에서 채취한 강모래를 실험에 사용함으로써 측정기의 보편성 및 정확성을 검증하려 하였고, 각 강모래의 주요 물성치는 다음과 같다.

표 4 강원도 원주시 섬강 모래의 물성치

분 류	물성치
Cu (균등 계수)	5.28
Cg (곡률 계수)	1.18
흙의 분류	SP
Gs (비중)	2.63
γ_{dmax} (최대건조단위중량)	1.86

표 5 전북 남원시 섬진강 모래의 물성치

분 류	물성치
Cu (균등 계수)	6.4
Cg (곡률 계수)	1.17
흙의 분류	SW
Gs (비중)	2.64
γ_{dmax} (최대건조단위중량)	1.83

표 6 충남 금산군 금강 모래의 물성치

분 류	물성치
Cu (균등 계수)	2.88
Cg (곡률 계수)	1.18
흙의 분류	SP
Gs (비중)	2.67
γ_{dmax} (최대건조단위중량)	1.78

표 7 충북 충주시 남한강 모래의 물성치

분 류	물성치
Cu (균등 계수)	5.15
Cg (곡률 계수)	1.75
흙의 분류	SP
Gs (비중)	2.64
γ_{dmax} (최대건조단위중량)	1.76

표 8 경남 합천군 황강 모래의 물성치

분 류	물성치
Cu (균등 계수)	2.39
Cg (곡률 계수)	0.97
흙의 분류	SP
Gs (비중)	2.64
γ_{dmax} (최대건조단위중량)	1.7

실험 공시체의 형성을 위해 사용한 토조는 지름 40cm, 높이 20cm의 원통형 토조를 사용하였으며, 다짐 램머는 무게 4kgf, 낙하고 40cm로 제작하여 실험에 이용하였다.



그림 11 토조와 램머

토조에 강모래를 3층으로 나누어 넣고 다짐을 실시하였으며, 다양한 다짐도의 변화를 위하여 램머의 층당 낙하횟수를 조절하였다.

3.2 실험 방법

가. 강모래 건조 및 함수비 조절 : 강모래를 건조로에 24시간 건조후에 공기 중에서 식히고, 실험에 적용할 함수비로 맞추기 위해 모래에 물을 섞어 함수비가 각 실험에 적정하도록 배합한다.

나. 다짐 : 토조에 모래를 넣고 3층으로 나누어 4kg 램머로 층마다 골고루 다짐에너지가 가해지도록 다짐을 실시한다. 낙하횟수는 다짐도에 따라 가감한다.

다. 다짐이 끝나면 토조에 담긴 모래를 저울에 올려 계량하고 무게를 기록한다.



그림 12 강모래 다짐



그림 13 계량

라. 토조안 모래의 상대 다짐도 계산 : 토조안에 다짐된 모래의 무게를 저울을 이용해 잴 후, 토조의 부피로 나누어 습윤단위중량(γ_t)을 구하고, 함수비를 캔 채취법을 이용해 구하면, 다음 공식에 대입해 토조안 건조단위중량(γ_d)을 구할 수 있다.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w}$$

토조안에 셋팅된 모래의 상대다짐도는 다음공식에 의해 구할 수 있는데, 모래의 최대 건조단위중량($\gamma_{d(max)}$)은 실내실험에서 구한 1.8 g/cm^3 , 토조안 건조단위중량(γ_d)은 위 식에서 구한 값을 대입하면 된다.

$$\text{다짐도}(\%) = \frac{\text{토조안 건조단위중량}}{\text{실내시험의 최대건조단위중량}} = \frac{\gamma_{d(field)}}{\gamma_{dmax}} \times 100$$

마. 콘 관입형 다짐도 측정기와 데이터 로거를 연결하여 변위에 대한 0 점을 잡는다.

바. 토조내 다짐된 모래시료에 그림과 같이 콘 관입형 다짐도 측정기를 관입시켜 관입량을 데이터로거를 이용해 읽는다.



그림 14 관입 전



그림 15 관입 후

사. 관입량을 측정지에 적고, 다짐도와의 상관관계를 해석 한다.

3.3. 실험 결과

가. 최적의 콘 형태와 스프링 조합 찾기

6종류의 콘과 4~10kg까지 7종류의 스프링을 조합하면 42가지의 조합형태가 나타나는데, 이 조합 중 다짐도와 관입깊이 간에 최적의 상관관계를 보이는 조합을 찾는 실험이다. 최적의 상관관계는 설계배경에 기술한 바와 같이 다짐도가 75%~95%사이의 값에 대응하는 콘의 관입깊이 값이 0~10cm까지 골고루 분포하는 것이다. 즉, 다짐도 75%일 때 관입깊이는 약 10cm정도이어야 하고, 다짐도 95%일 때는 관입깊이가 약 0cm의 값을 보일 때이다.

실험 결과를 분석해 보면, 스프링 6, 7kg에 콘 5, 6번을 장착했을 때와 스프링 9kg에 콘 2번을 장착했을 때에 상관관계가 양호한 것으로 분석되었다.

1) 스프링 4kg

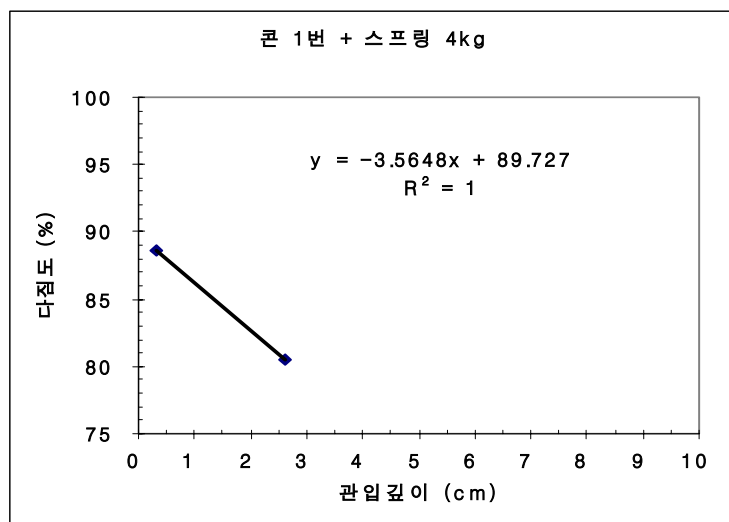


그림 16 콘 1번 + 스프링 4kg

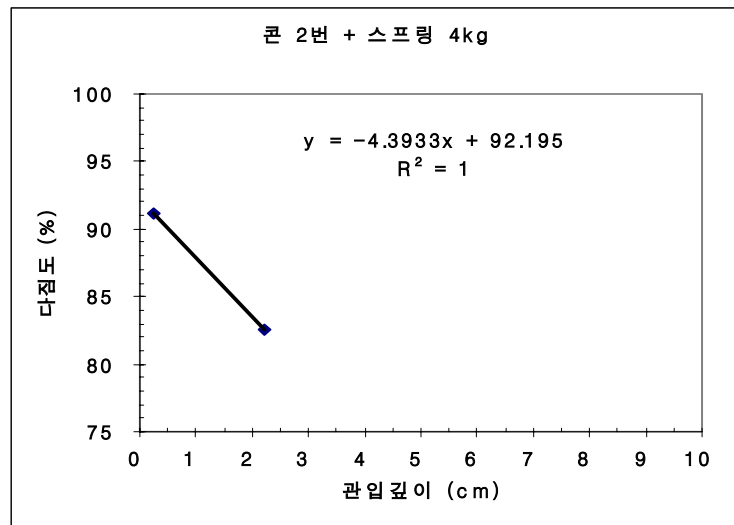


그림 17 콘 2번 + 스프링 4kg

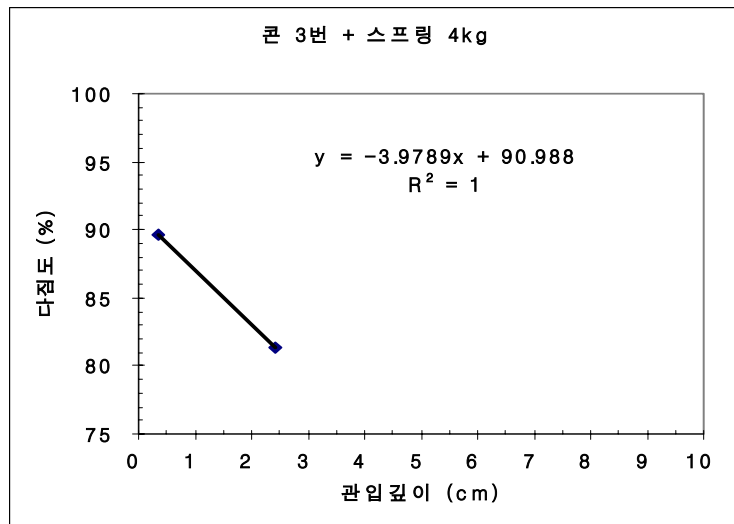


그림 18 콘 3번 + 스프링 4kg

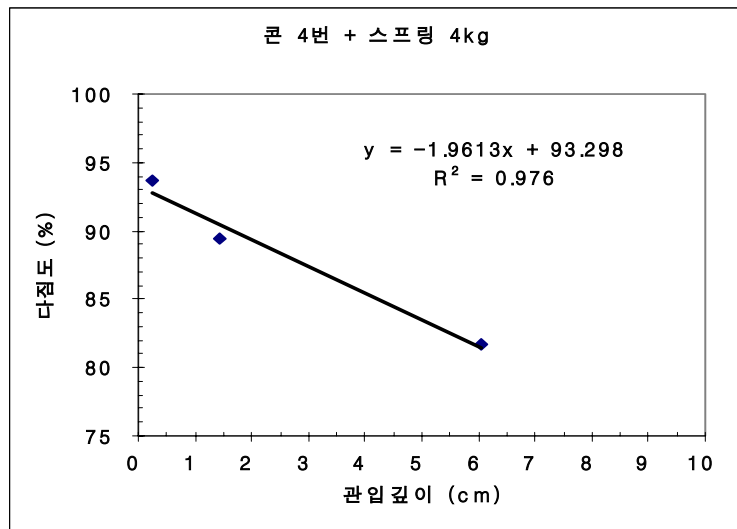


그림 19 콘 4번 + 스프링 4kg

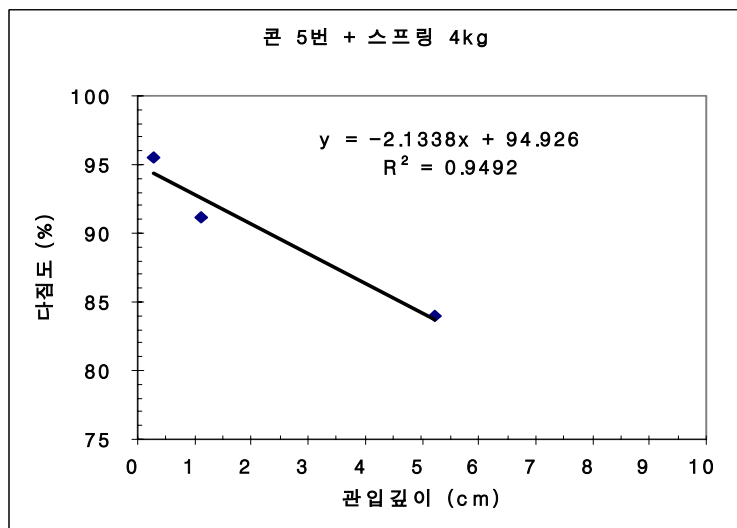


그림 20 콘 5번 + 스프링 4kg

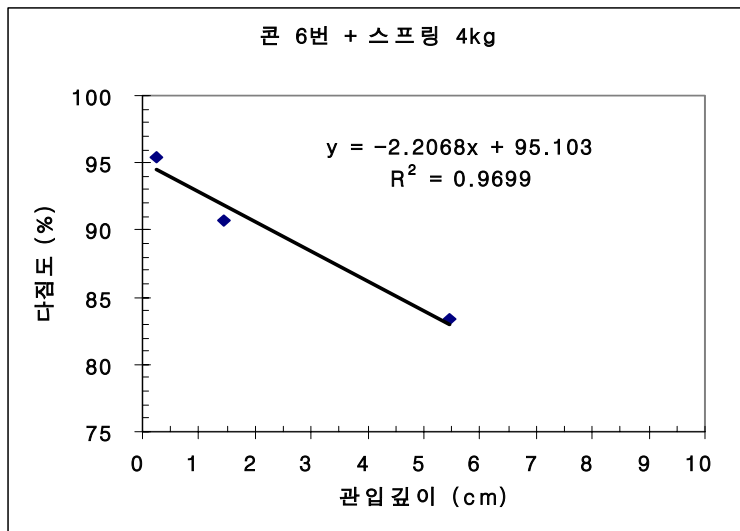


그림 21 콘 6번 + 스프링 4kg

2) 스프링 5kg

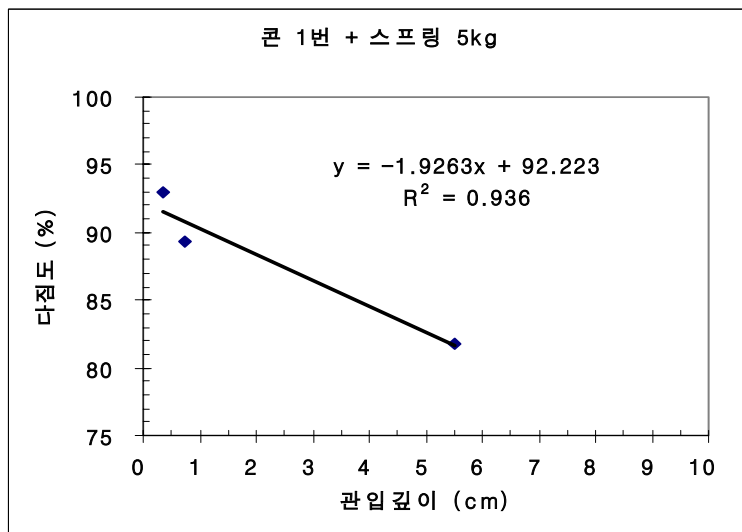


그림 22 콘 1번 + 스프링 5kg

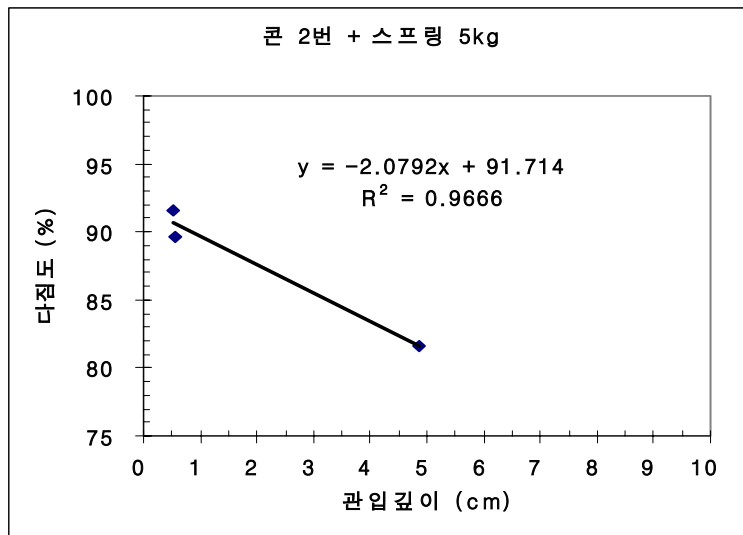


그림 23 콘 2번 + 스프링 5kg

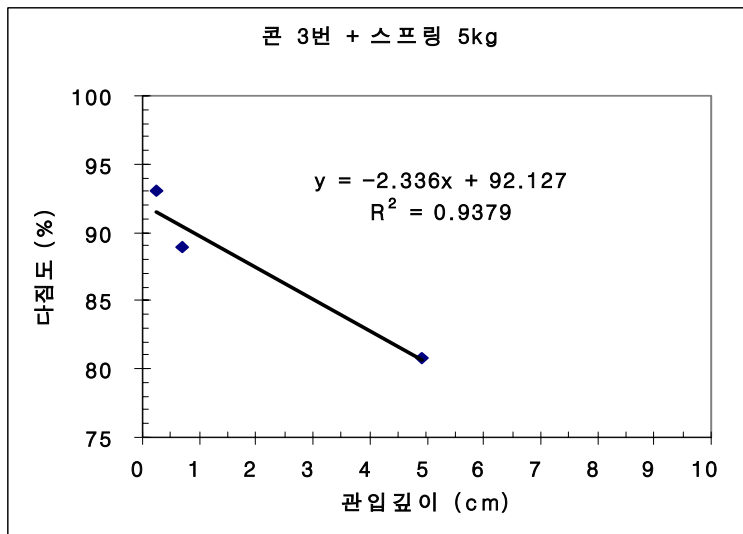


그림 24 콘 3번 + 스프링 5kg

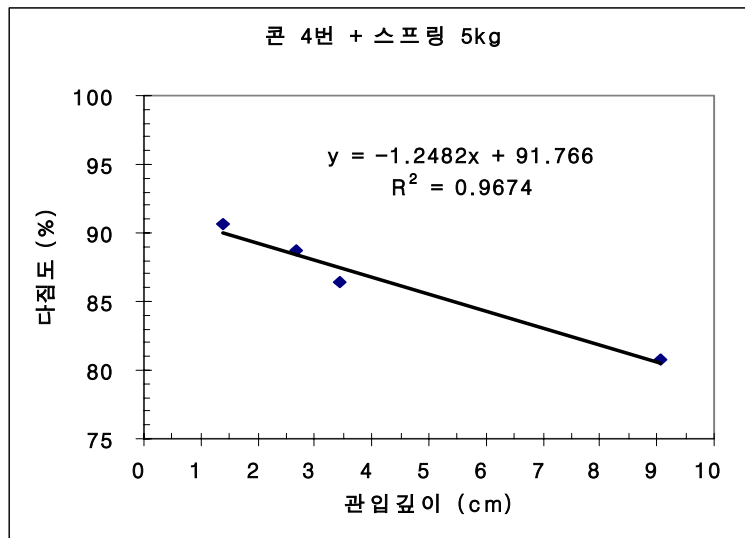


그림 25 콘 4번 + 스프링 5kg

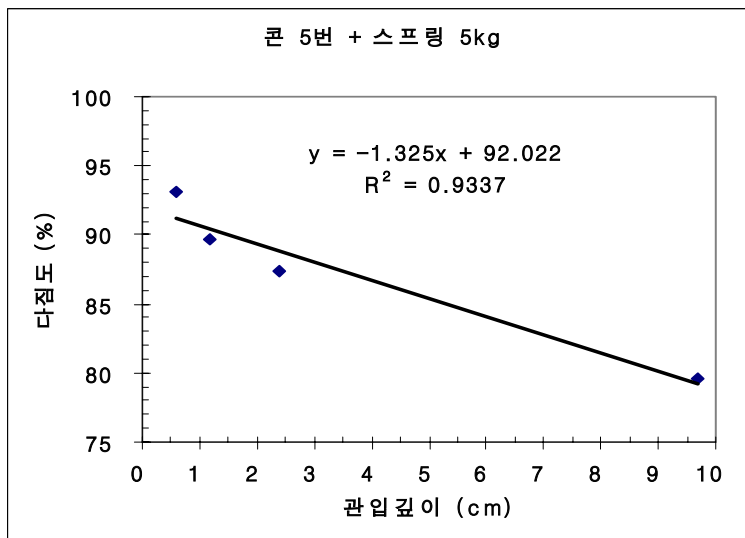


그림 26 콘 5번 + 스프링 5kg

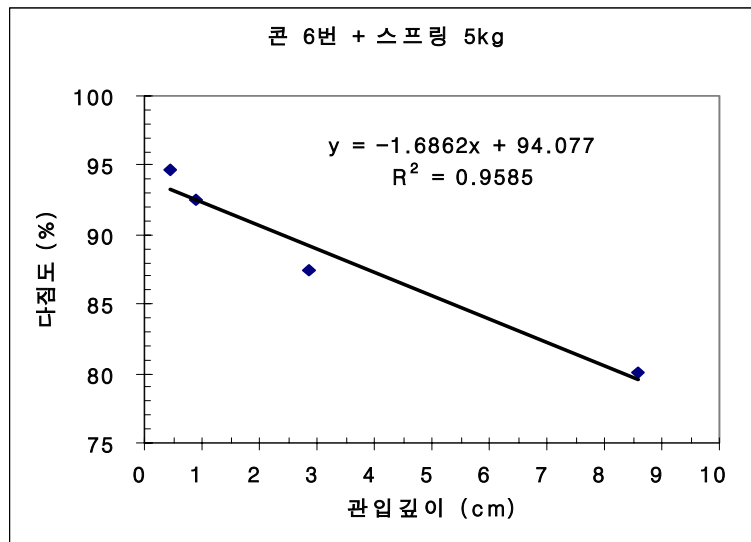


그림 27 콘 6번 + 스프링 5kg

3) 스프링 6kg

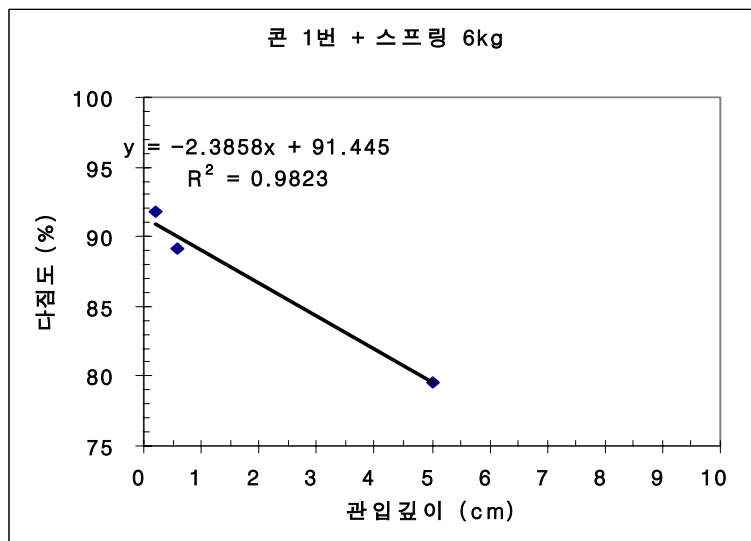


그림 28 콘 1번 + 스프링 6kg

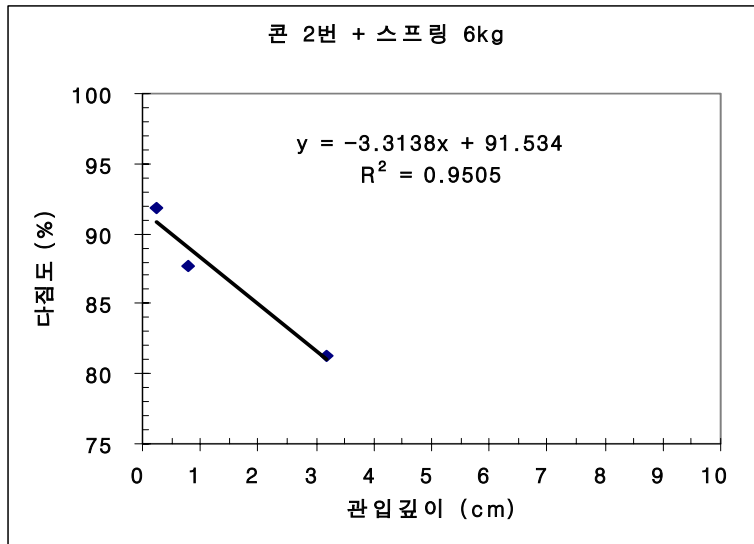


그림 29 콘 2번 + 스프링 6kg

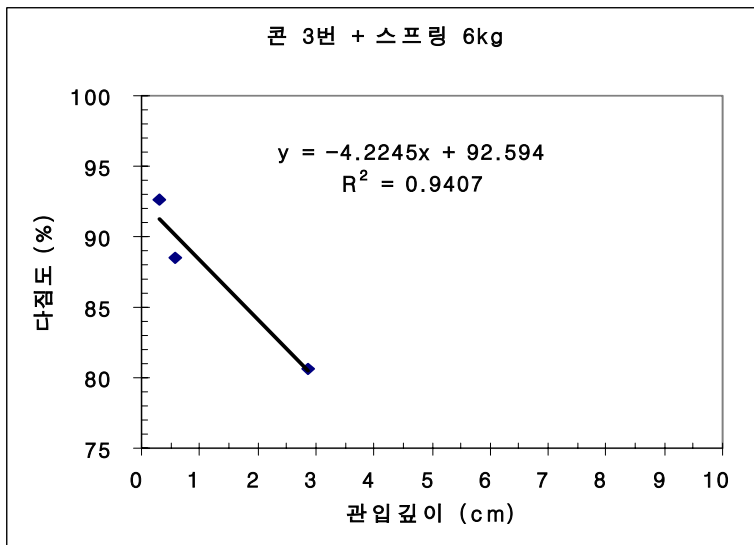


그림 30 콘 3번 + 스프링 6kg

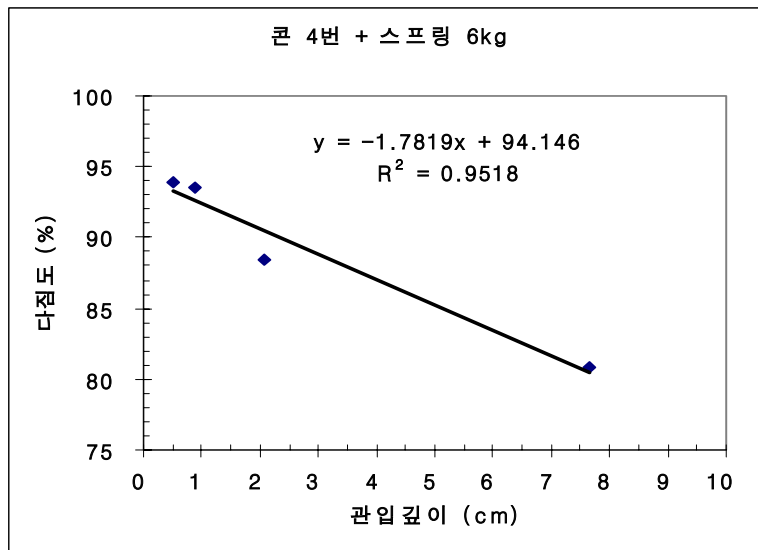


그림 31 콘 4번 + 스프링 6kg

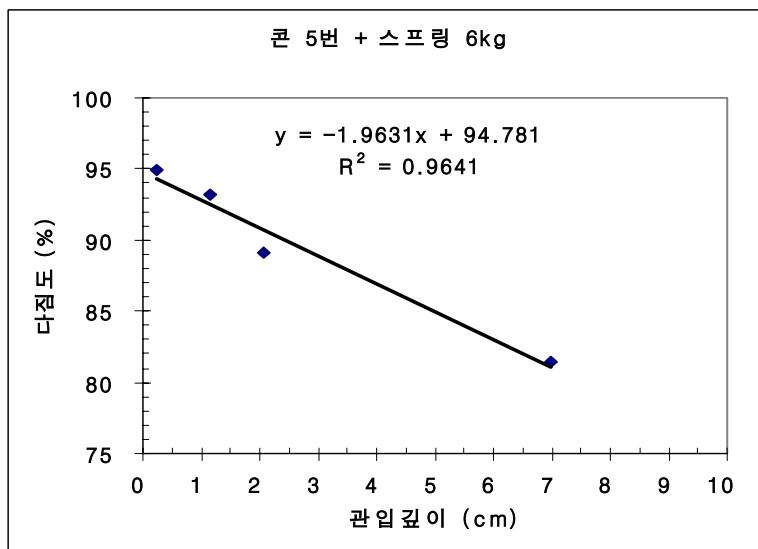


그림 32 콘 5번 + 스프링 6kg

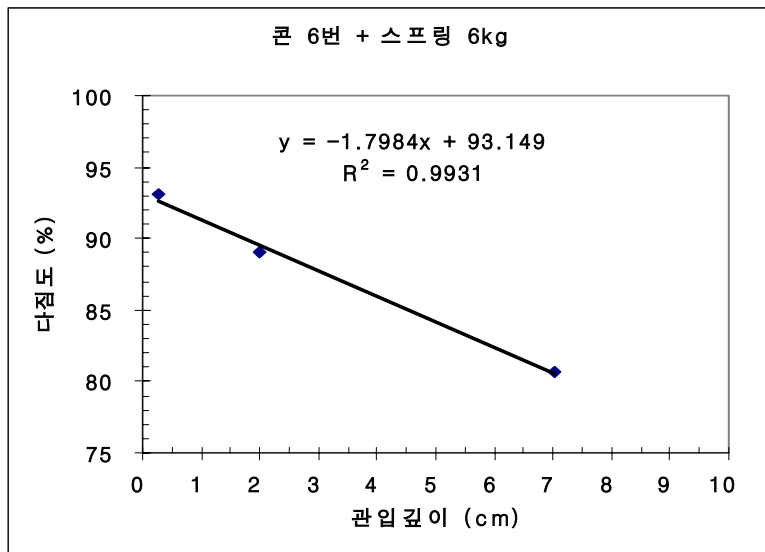


그림 33 콘 6번 + 스프링 6kg

4) 스프링 7kg

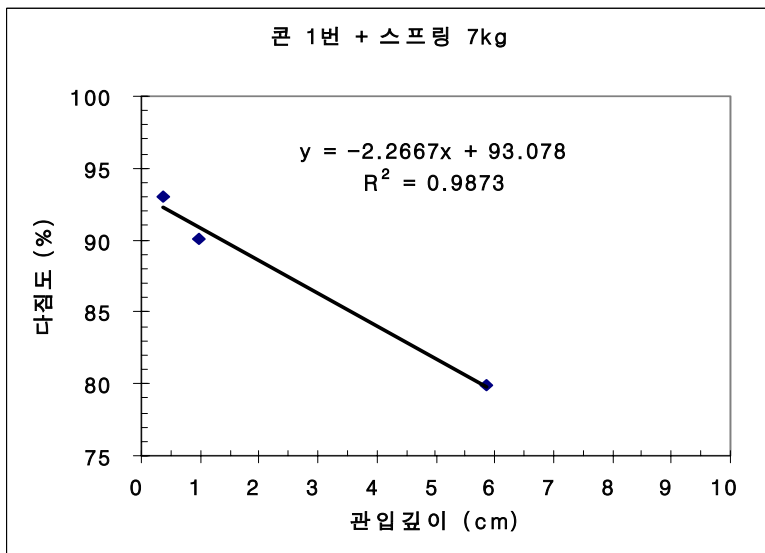


그림 34 콘 1번 + 스프링 7kg

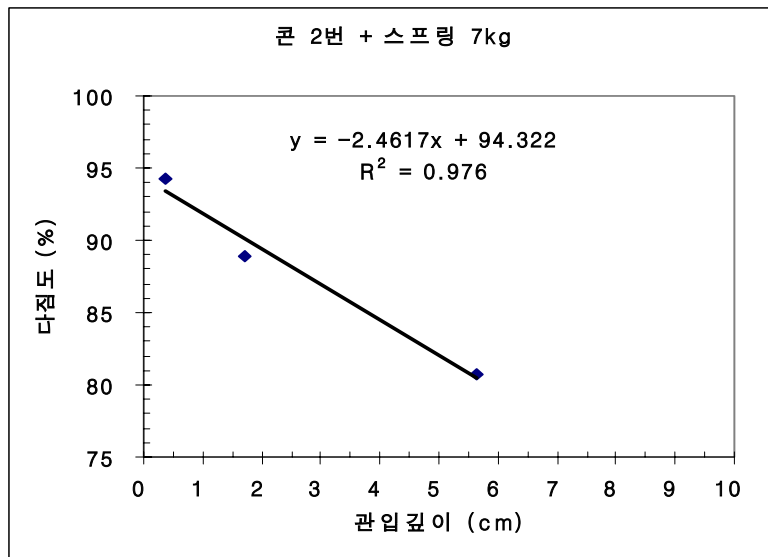


그림 35 콘 2번 + 스프링 7kg

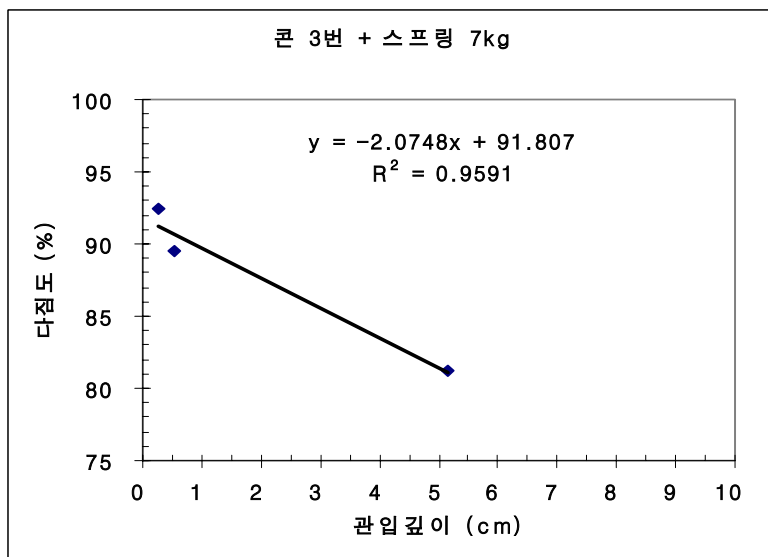


그림 36 콘 3번 + 스프링 7kg

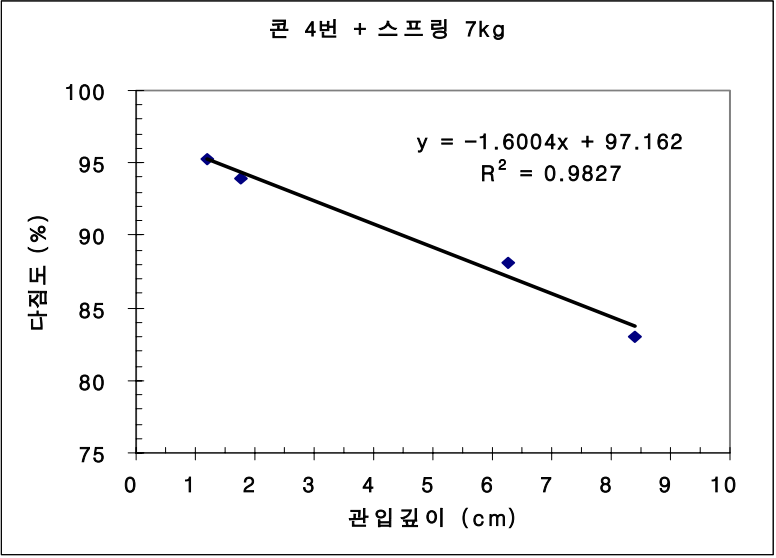


그림 37 콘 4번 + 스프링 7kg

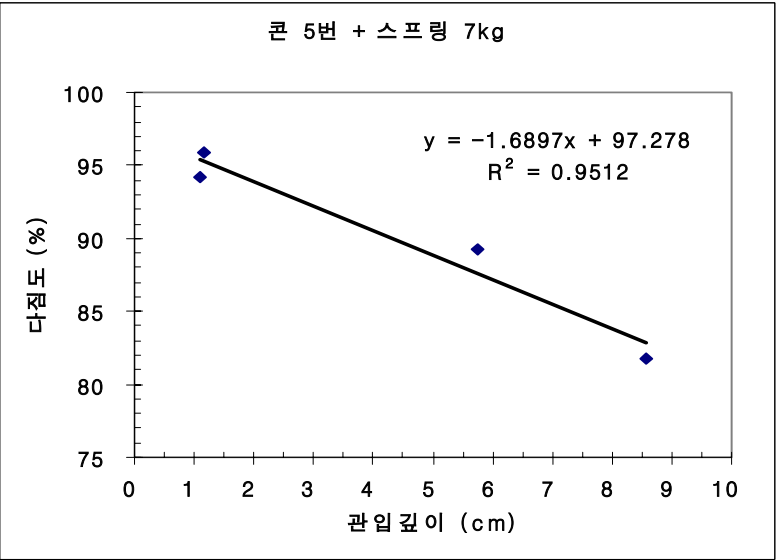


그림 38 콘 5번 + 스프링 7kg

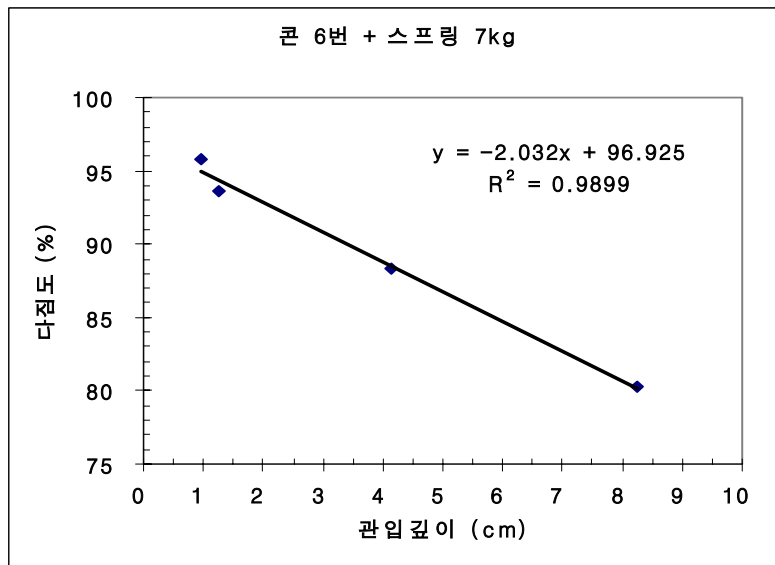


그림 39 콘 6번 + 스프링 7kg

5) 스프링 8kg

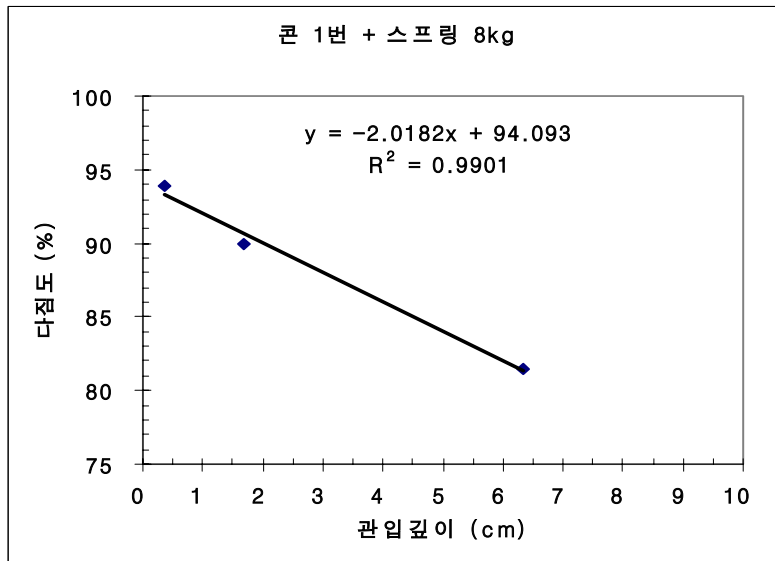


그림 40 콘 1번 + 스프링 8kg

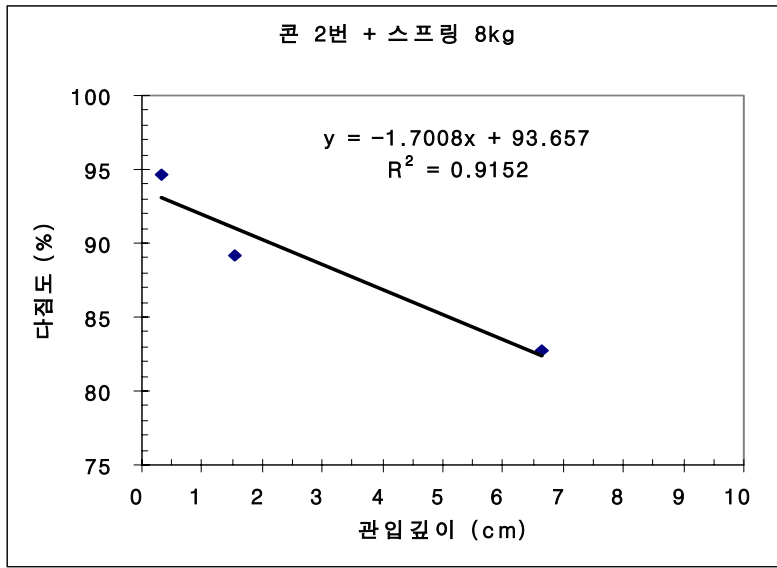


그림 41 콘 2번 + 스프링 8kg

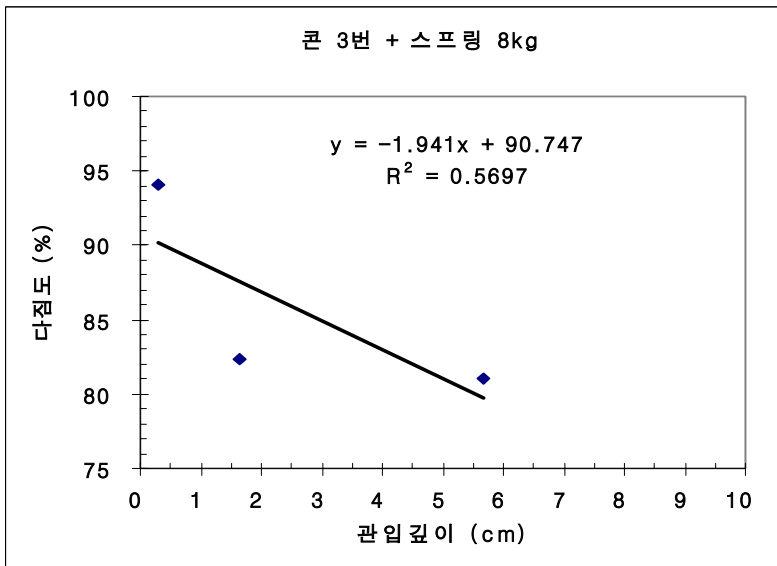


그림 42 콘 3번 + 스프링 8kg

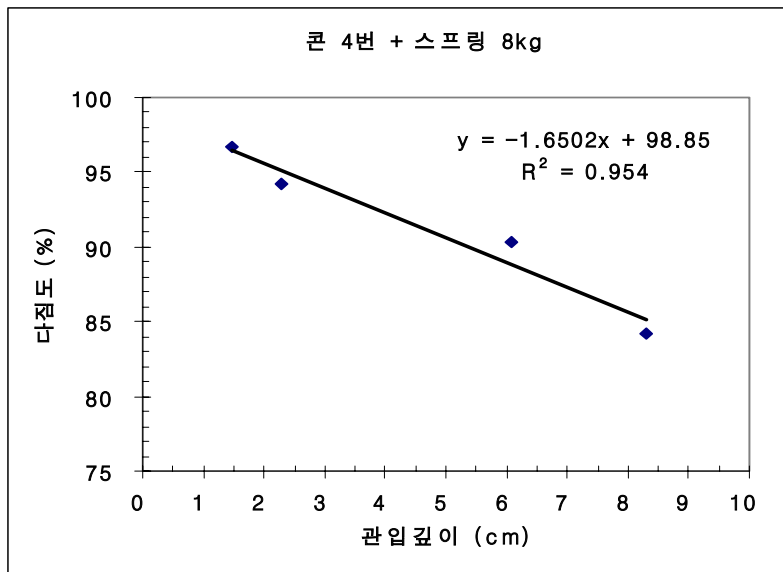


그림 43 콘 4번 + 스프링 8kg

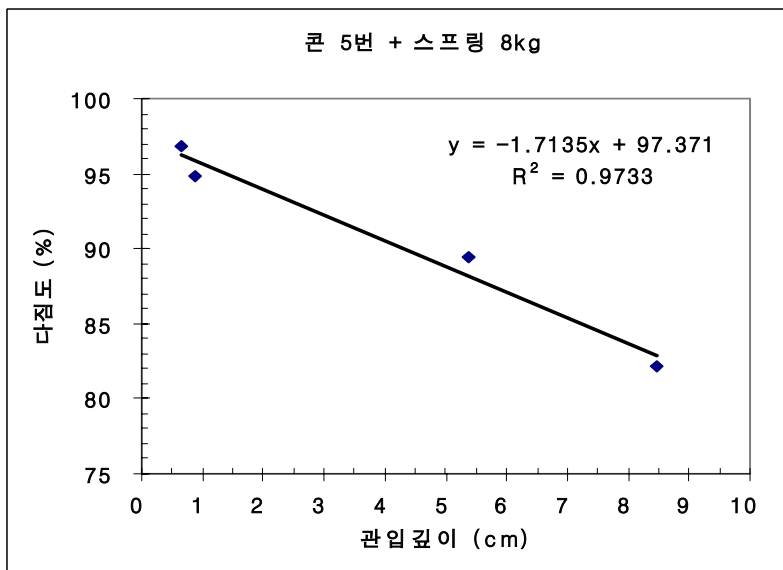


그림 44 콘 5번 + 스프링 8kg

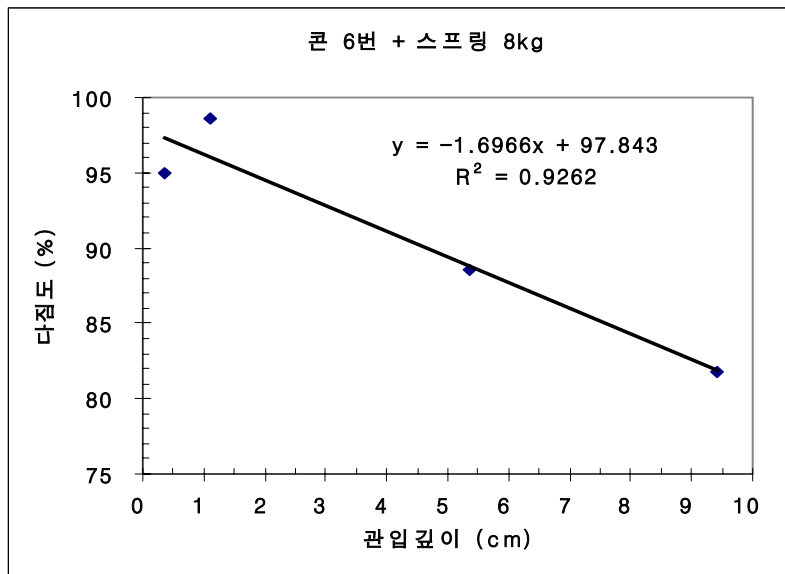


그림 45 콘 6번 + 스프링 8kg

6) 스프링 9kg

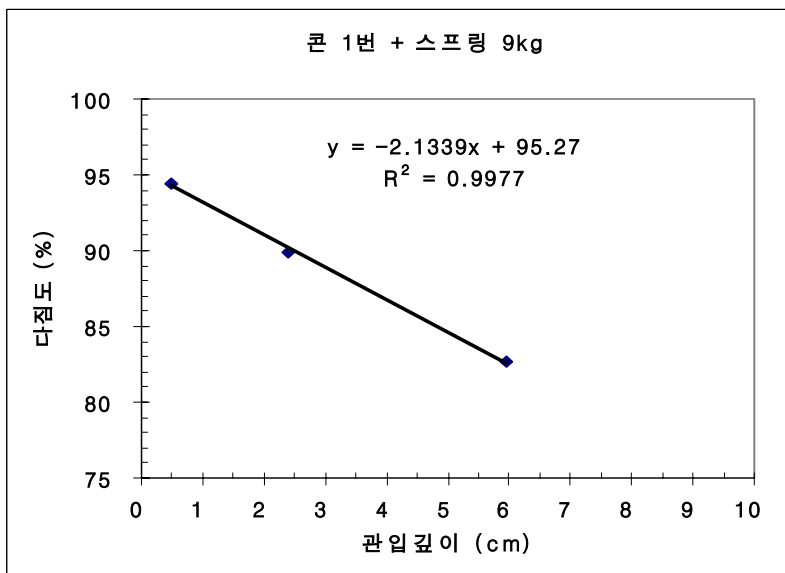


그림 46 콘 1번 + 스프링 9kg

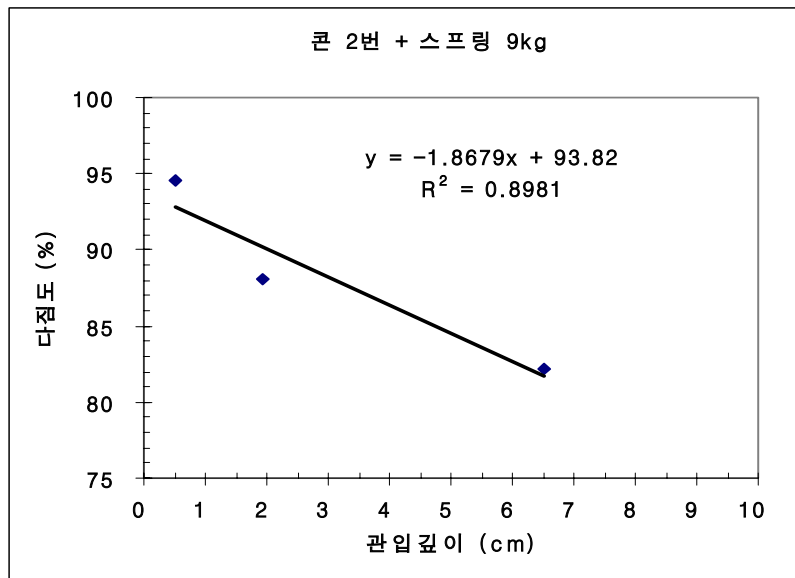


그림 47 콘 2번 + 스프링 9kg

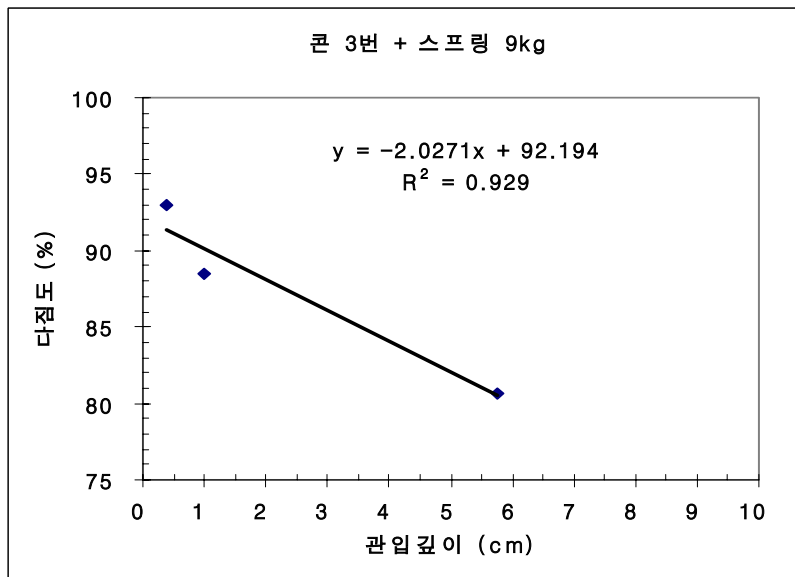


그림 48 콘 3번 + 스프링 9kg

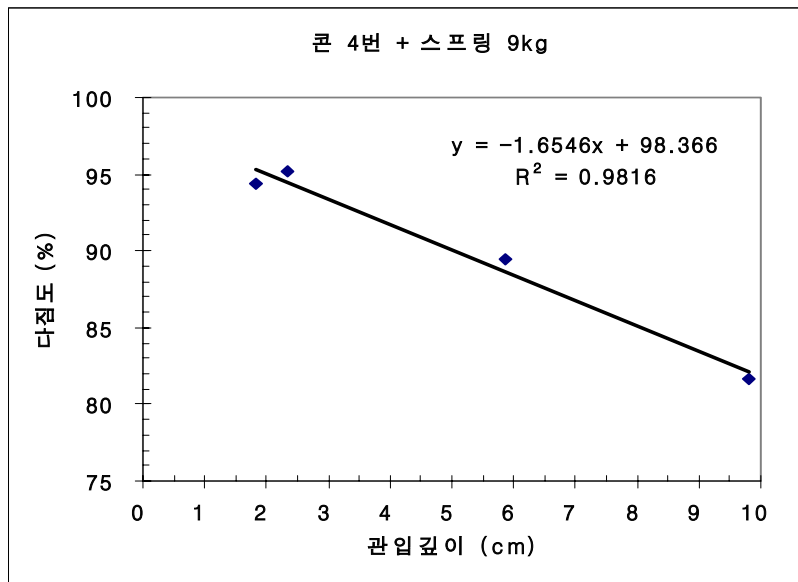


그림 49 콘 4번 + 스프링 9kg

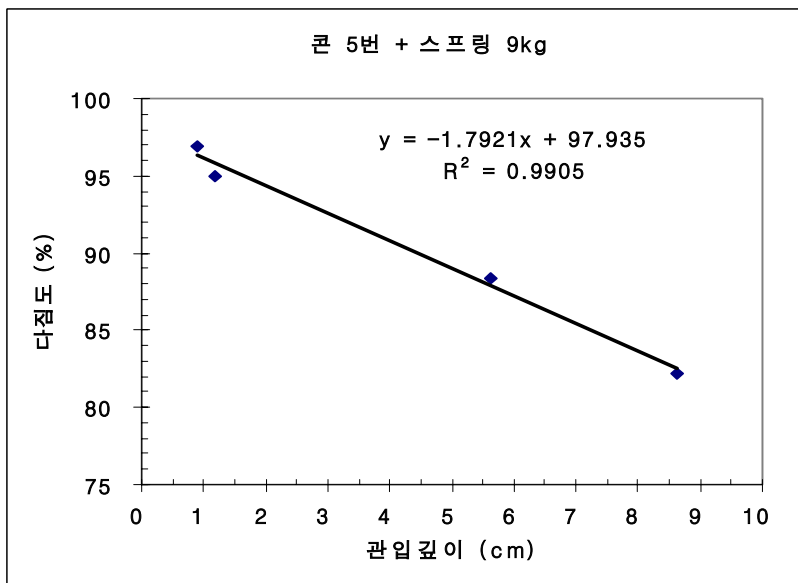


그림 50 콘 5번 + 스프링 9kg

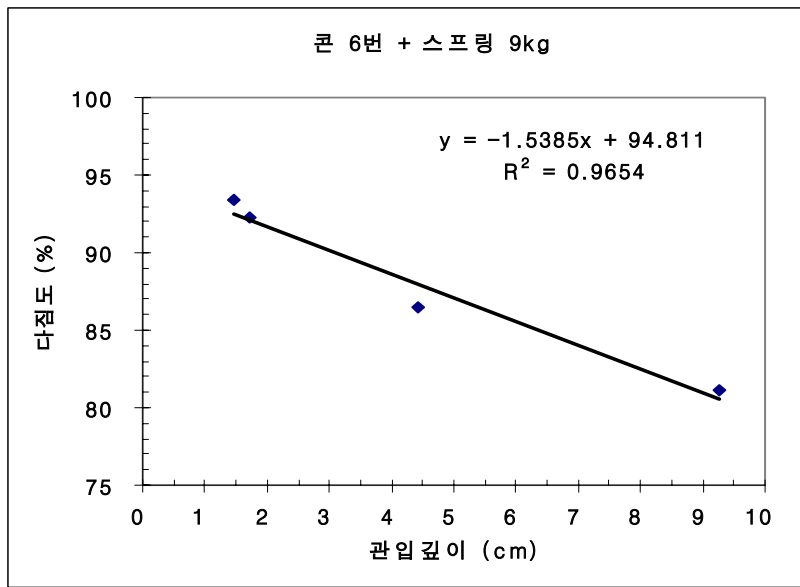


그림 51 콘 6번 + 스프링 9kg

7) 스프링 10kg

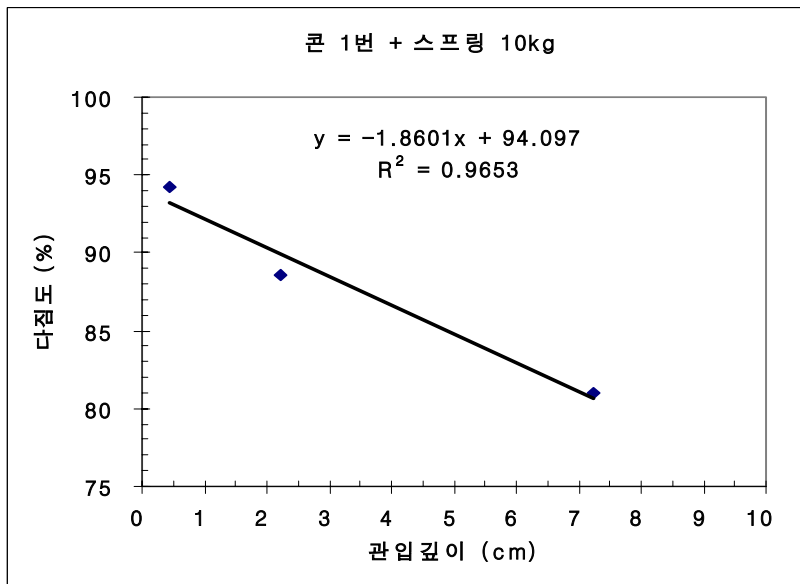


그림 52 콘 1번 + 스프링 10kg

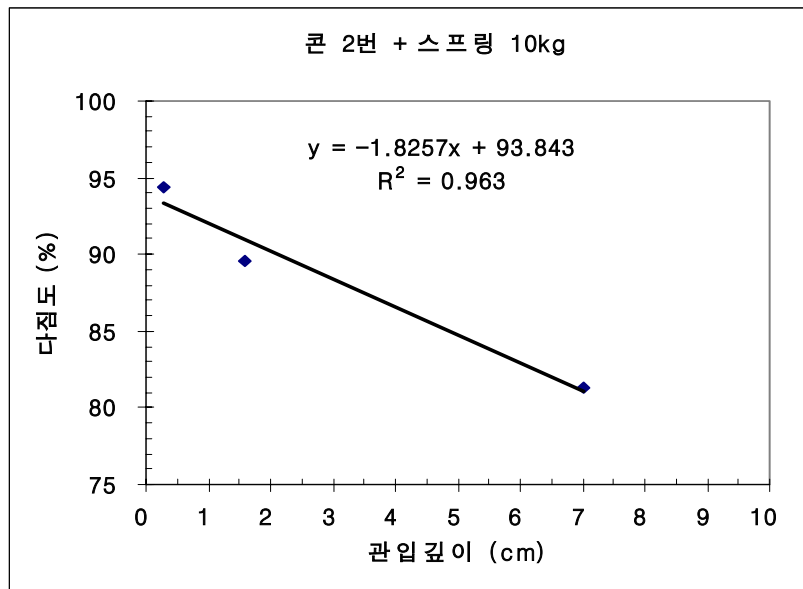


그림 53 콘 2번 + 스프링 10kg

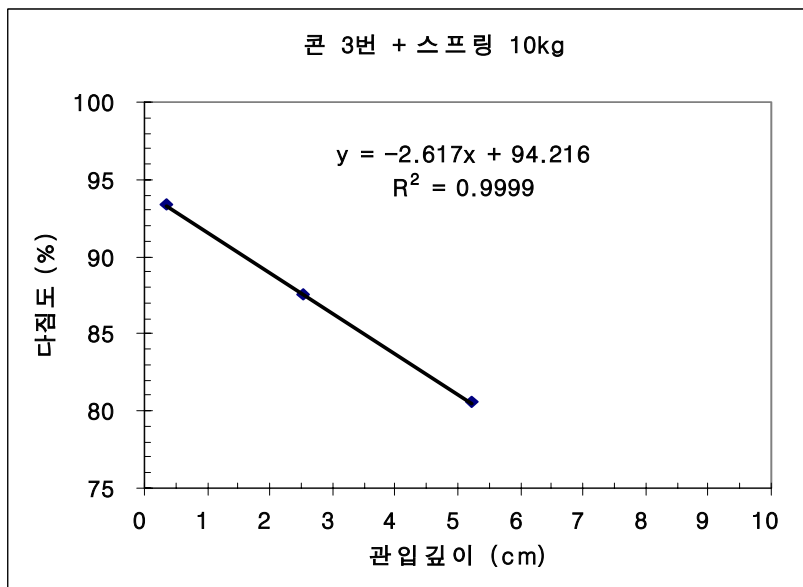


그림 54 콘 3번 + 스프링 10kg

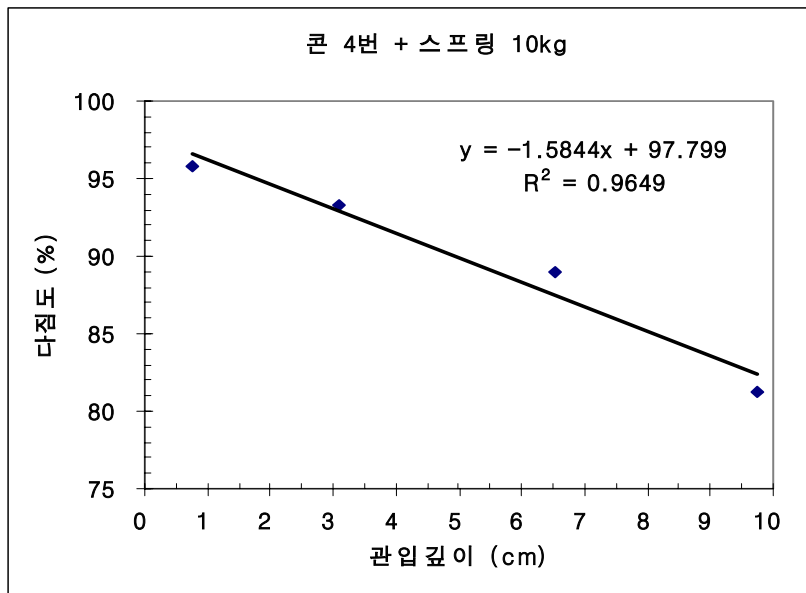


그림 55 콘 4번 + 스프링 10kg

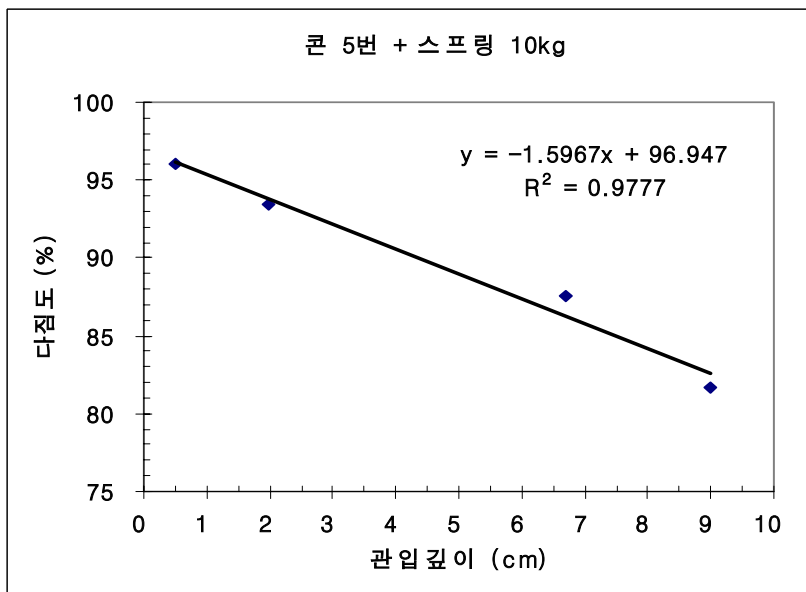


그림 56 콘 5번 + 스프링 10kg

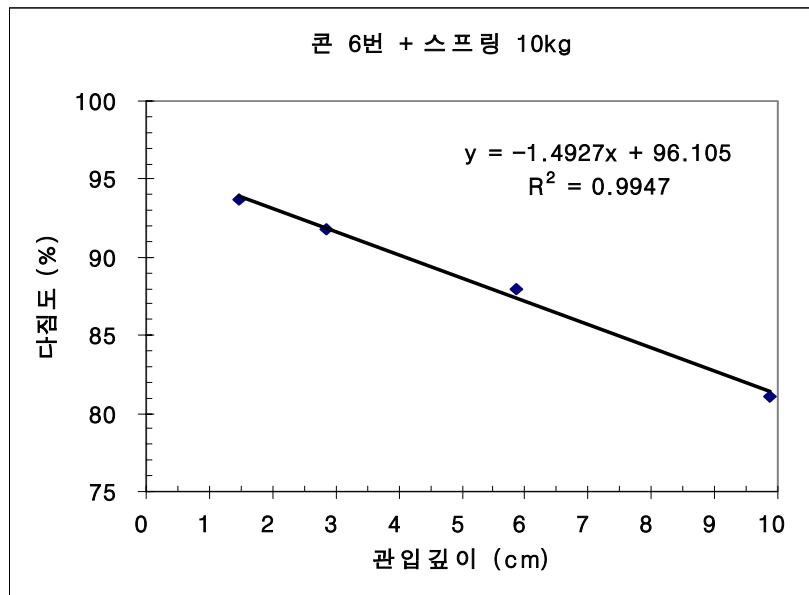


그림 57 콘 6번 + 스프링 10kg

나. 스프링 6, 7kg+콘 5, 6번과 스프링 9kg+콘 2번 조합에 대한 적용성 실험

“가”의 실험 결과로부터 가장 좋은 데이터 값을 보인 위의 조합을 가지고, 함수비 5%, 10%로 배합한 모래를 다짐도 75%~100%까지 변화시켜 관입시험을 실시하였다.

“가”의 실험과 다르게 함수비의 변화를 준 이유는 현장 함수비에 제한받지 않고 다짐도 값을 측정하기 위함이고, 함수비의 변화에 둔감한 최적의 상관관계를 보이는 조합을 찾기 위함이다.

실험결과, 스프링 9kg일 때에 콘 2번이 가장 좋은 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다.

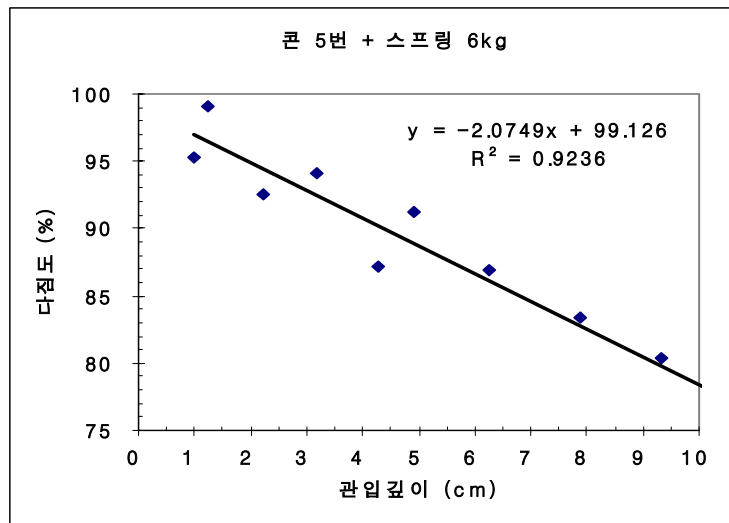


그림 58 콘 5번 + 스프링 6kg

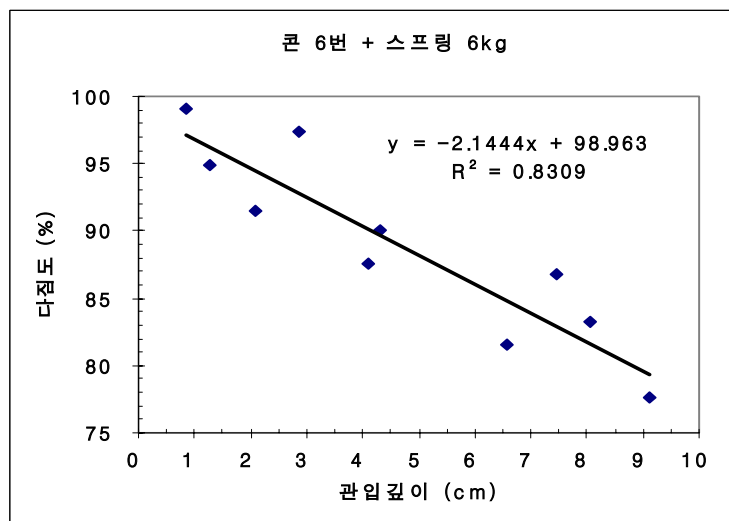


그림 59 콘 6번 + 스프링 6kg

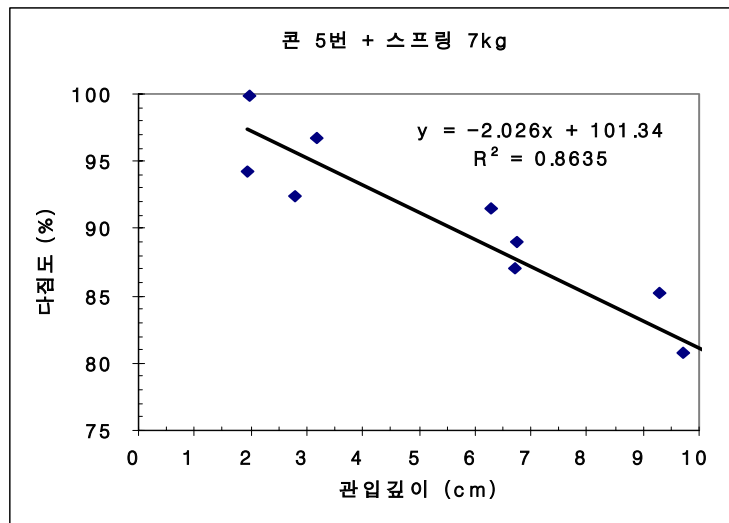


그림 60 콘 5번 + 스프링 7kg

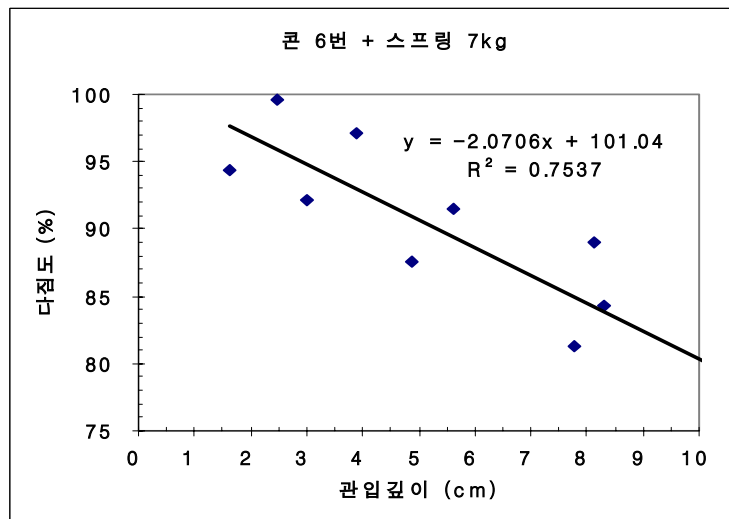


그림 61 콘 5번 + 스프링 7kg

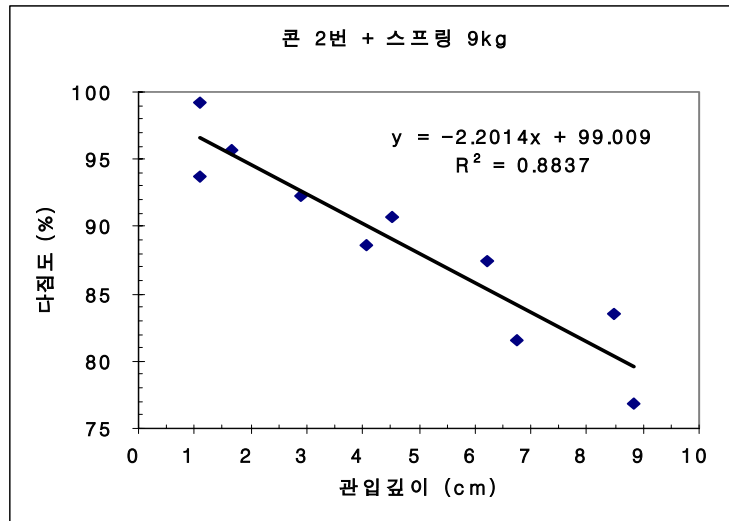


그림 62 콘 5번 + 스프링 9kg

다. 스프링 9kg+콘 2번 조합에 대한 각 지역 모래에 대한 관입시험

스프링 9kg+콘 2번 조합에 대하여 각 지역에서 채취된 강모래를 가지고 함수비 2%~13%, 다짐도 75%~90%로 변화시켜 가면서 다짐도와 관입깊이에 대한 상관관계식을 구했다.

1) 황강

함수비를 2~13%까지 변화시켜서 관입깊이에 대한 다짐도 값을 실험하였고, 분석결과, 다음과 같은 특징을 보였다.

- (1) 함수비가 2~13%일 때, 관입깊이에 대한 다짐도 값의 상관계수가 낮고, 분산이 크다. 그래프에서 추세선 상단의 점들은 주로 함수비 2~3%의 값이다.
- (2) 함수비가 2~3%미만의 값과 3~13%값을 분리하여 그래프화 하면, 함수비

3~13%의 상관계수가 매우 높아지고, 분산도 작게 나타난다.

(3) 즉, 콘의 관입깊이로 모래의 자연 건조함수비인 3% 대에서 포화함수비인 13%정도까지 비교적 정확한 다짐도 값을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.

(4) 측정가능 다짐도 범위는 약 70%에서 90%이다.

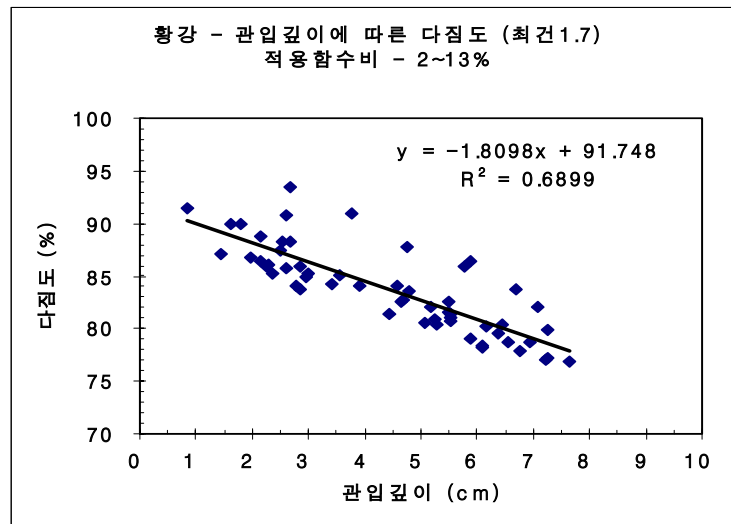


그림 63 적용함수비 2~13%

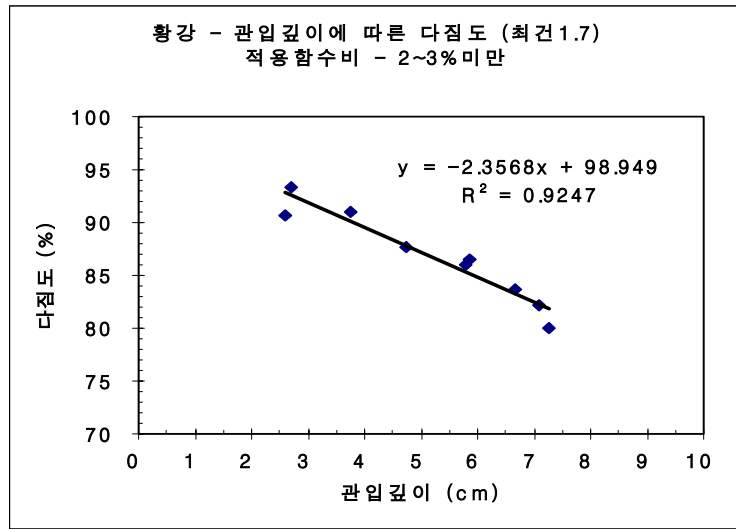


그림 64 적용함수비 2~3%미만

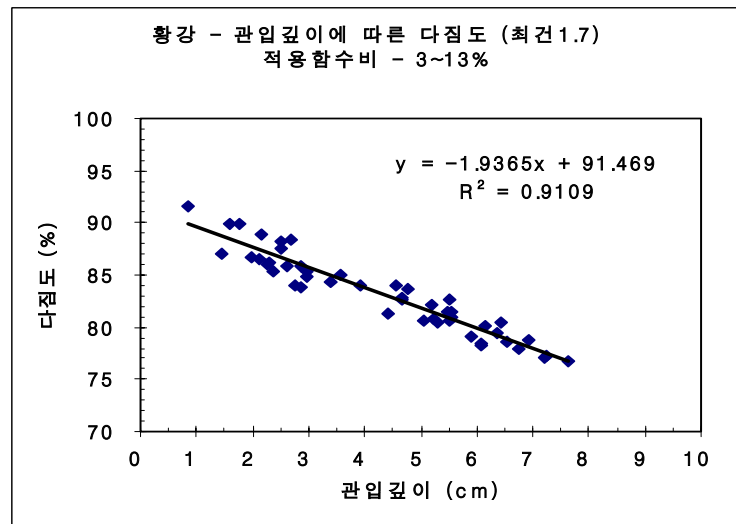


그림 65 적용함수비 3~13%

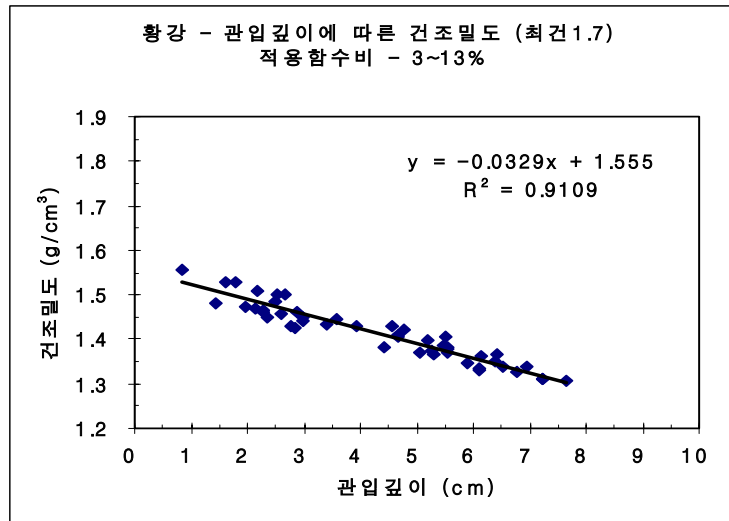


그림 66 적용함수비 3~13%

2) 남한강

함수비를 1~11%까지 변화시켜서 관입깊이에 대한 다짐도 값을 실험하였고, 분석결과, 다음과 같은 특징을 보였다.

- (1) 함수비가 1~11%일 때, 관입깊이에 대한 다짐도 값의 상관계수가 낮고, 분산이 크다. 그래프에서 추세선 상단의 점들은 주로 함수비 1~3%의 값이다.
- (2) 함수비가 1~3%미만의 값과 3~11%값을 분리하여 그래프화 하면, 함수비 3~11%의 상관계수가 매우 높아지고, 분산도 작게 나타난다.
- (3) 즉, 콘의 관입깊이로 모래의 자연 건조함수비인 3% 대에서 11%정도까지 비교적 정확한 다짐도 값을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.
- (4) 측정가능 다짐도 범위는 약 70%에서 90%이다.

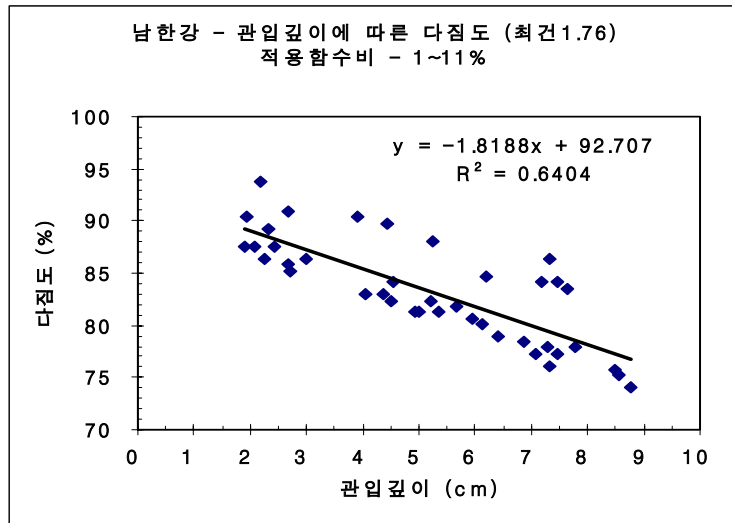


그림 67 적용함수비 1~11%

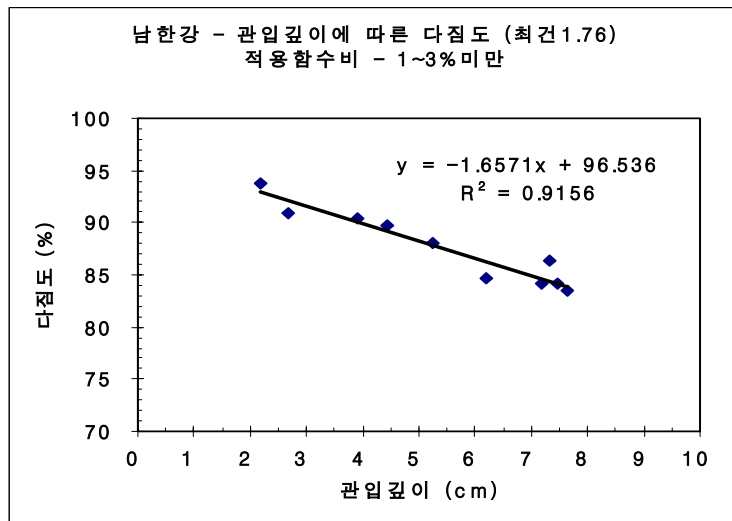


그림 68 적용함수비 1~3%미만

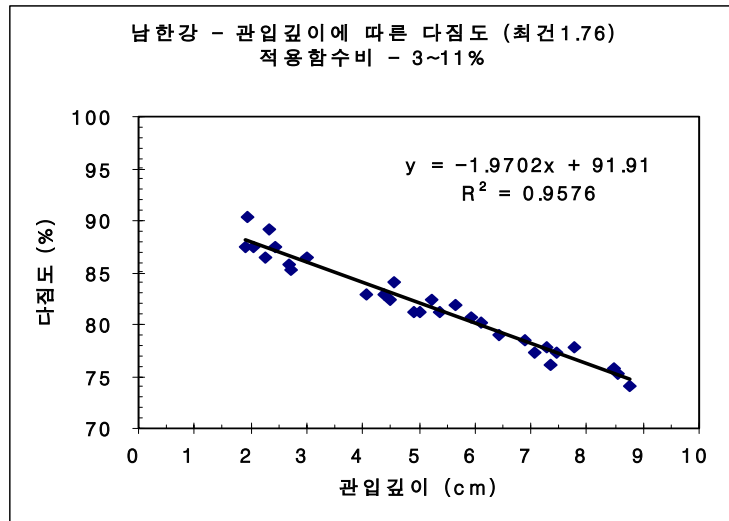


그림 69 적용함수비 3~11%

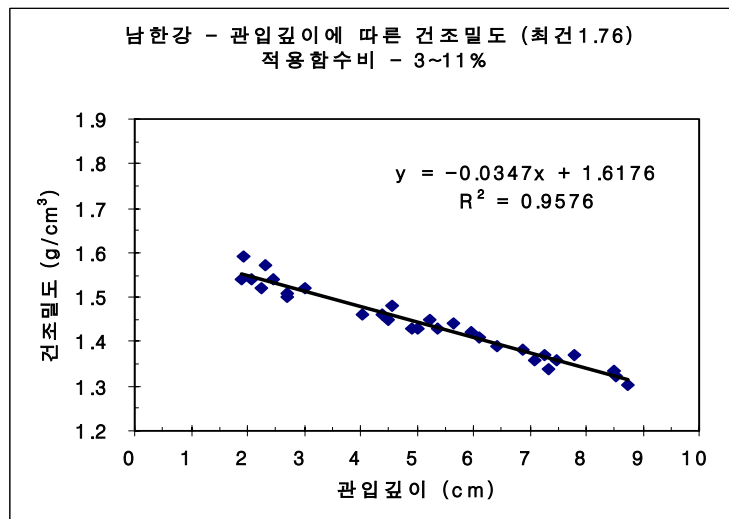


그림 70 적용함수비 3~11%

3) 금강

함수비를 3~11%까지 변화시켜서 관입깊이에 대한 다짐도 값을 실험하였고, 분석결과, 다음과 같은 특징을 보였다.

- (1) 콘의 관입깊이로 모래의 자연 건조함수비인 3% 대에서 11%정도까지 비교적 정확한 다짐도 값을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.
- (2) 측정가능 다짐도 범위는 약 70%에서 90%이다.

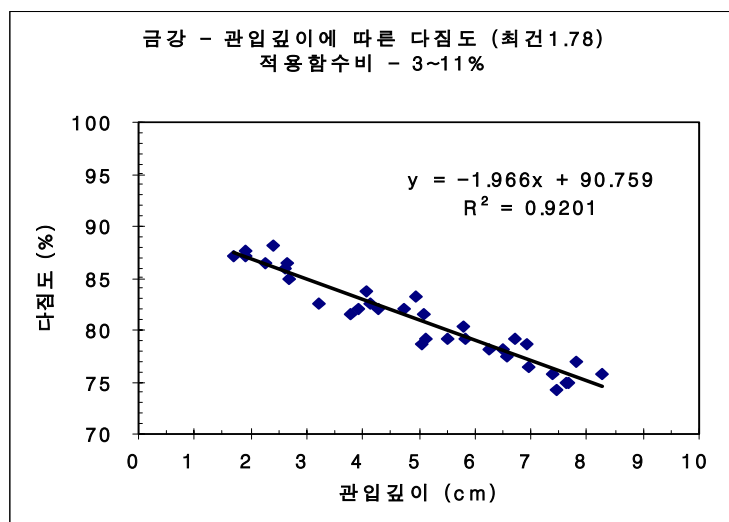


그림 71 적용 함수비 3~11%

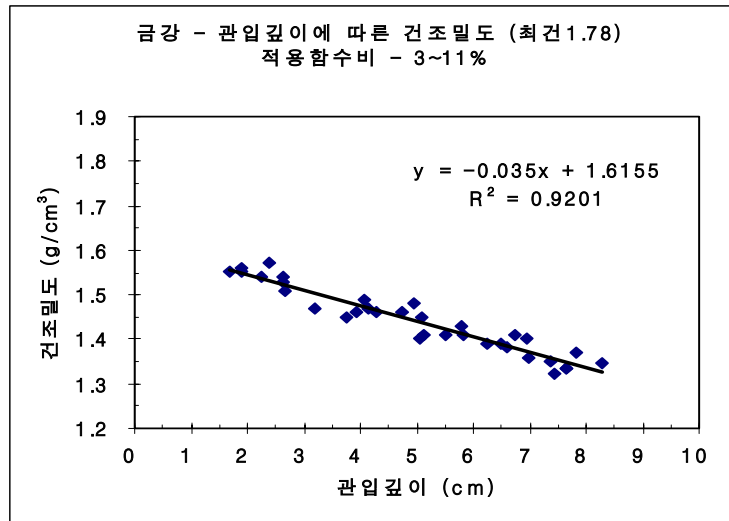


그림 72 적용함수비 3~11%

4) 섬진강

함수비를 3~12%까지 변화시켜서 관입깊이에 대한 다짐도 값을 실험하였고, 분석결과, 다음과 같은 특징을 보였다.

- (1) 콘의 관입깊이로 모래의 자연 건조함수비인 3% 대에서 12%정도까지 비교적 정확한 다짐도 값을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.
- (2) 측정가능 다짐도 범위는 약 70%에서 90%이다.

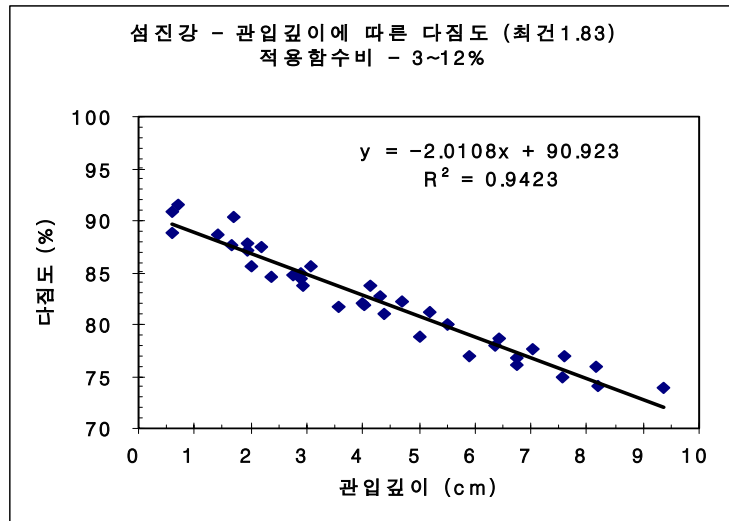


그림 73 적용함수비 3~12%

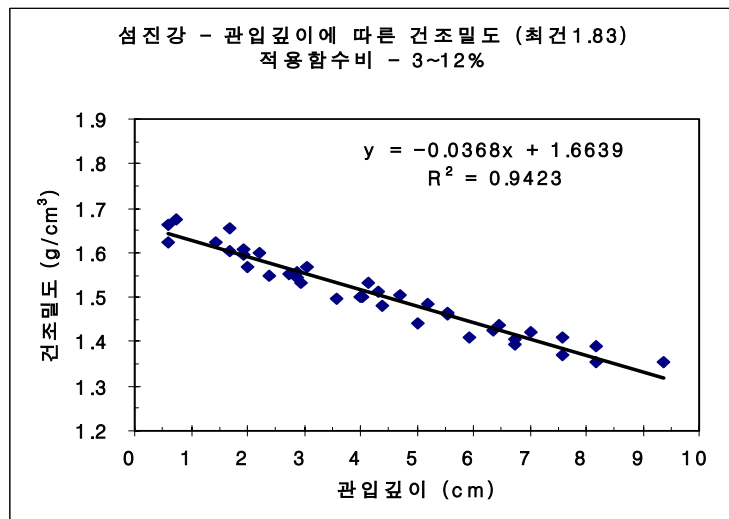


그림 74 적용함수비 3~12%

5) 섬강

함수비를 2~12%까지 변화시켜서 관입깊이에 대한 다짐도 값을 실험하였고, 분석결과, 다음과 같은 특징을 보였다.

- (1) 함수비가 2~12%일 때, 관입깊이에 대한 다짐도 값의 상관계수가 낮고, 분산이 크다. 그래프에서 추세선 상단의 점들은 주로 함수비 2~3%미만의 값이다.
- (2) 함수비가 2~3%미만의 값과 3~12%값을 분리하여 그래프화 하면, 함수비 3~12%의 상관계수가 매우 높아지고, 분산도 작게 나타난다.
- (3) 즉, 콘의 관입깊이로 모래의 자연 건조함수비인 3% 대에서 12%정도까지 비교적 정확한 다짐도 값을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.
- (4) 측정가능 다짐도 범위는 약 70%에서 90%이다.

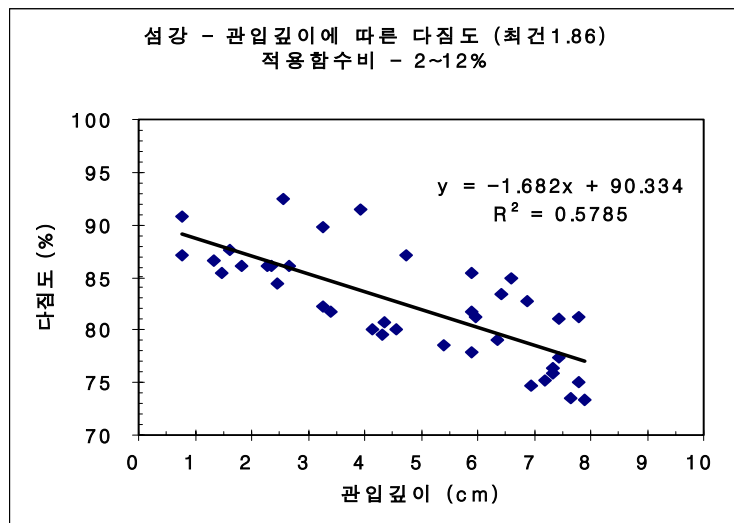


그림 75 적용 함수비 2~12%

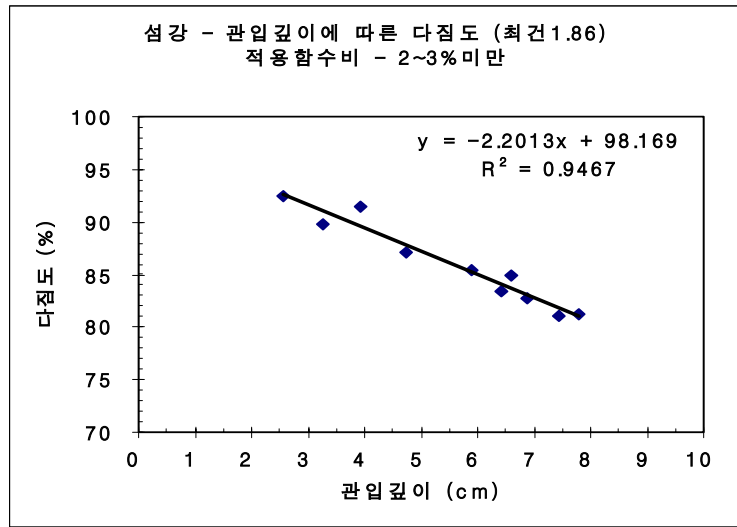


그림 76 적용함수비 2~3%미만

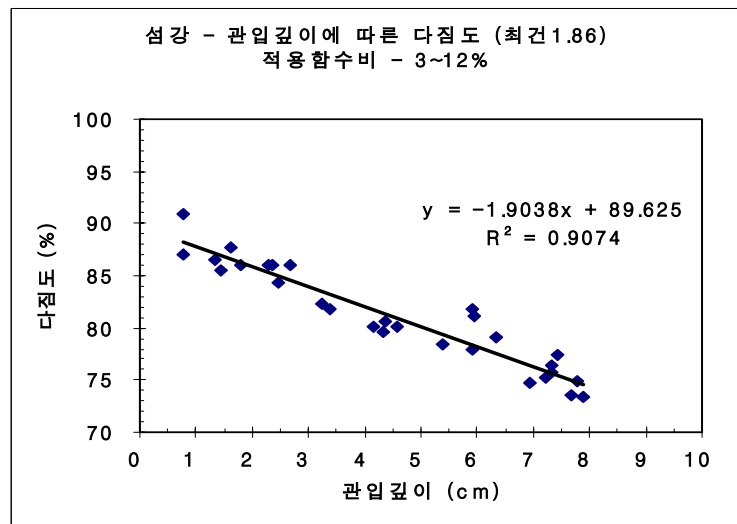


그림 77 적용함수비 3~12%

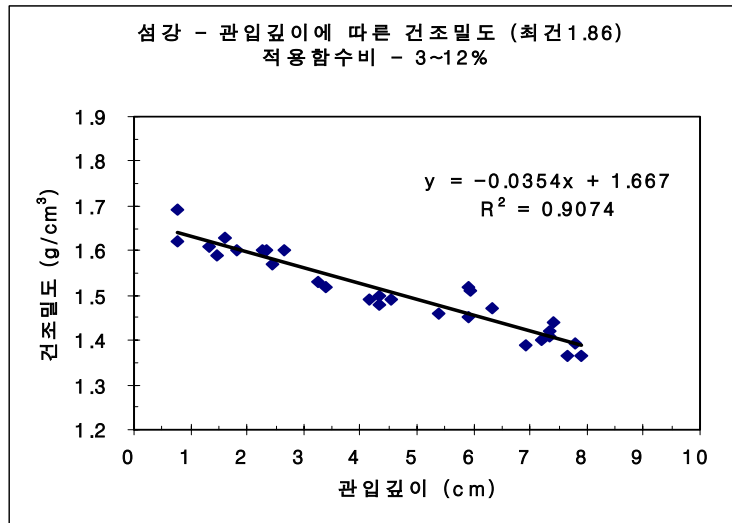


그림 78 적용함수비 3~12%

6) 전체 종합

그림 79~80은 1)~5)의 각 강에 대한 실험값 중에서 관입깊이에 대한 건조 밀도의 상관관계 그래프를 하나의 차트에 나타낸 것이다. 특징은 최대건조밀도가 높은 순으로 추세선에 의한 공식의 y절편값이 작아지는 경향이 있고, 기울기는 모든 강에서 비슷한 값을 보인다(그림 79). 전체적으로 비교적 분산이 크고, 상관계수가 낮다(그림 80).

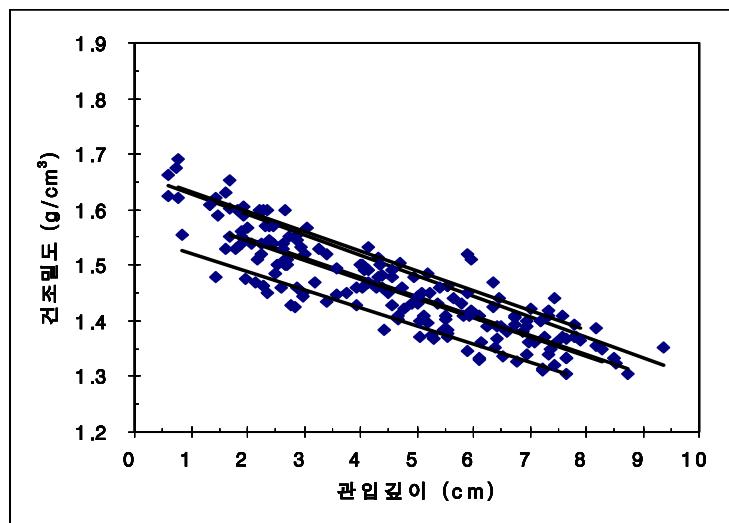


그림 79 건조밀도에 대한 합침

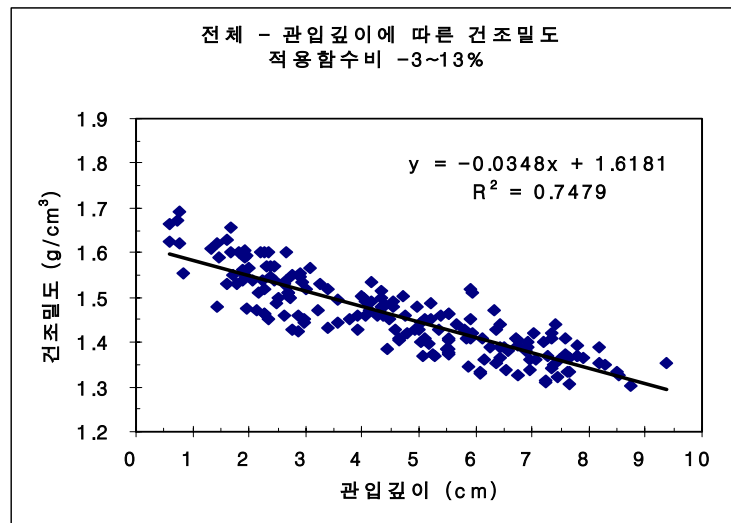


그림 80 건조밀도에 대한 합침

그림 81~82는 1)~5)의 각 강에 대한 실험값 중에서 관입깊이에 대한 다짐도의 상관관계 그래프를 하나의 차트에 나타낸 것이다. 특징은 건조밀도에 대해 해석한 것과는 다르게 일정한 회귀선으로 수렴함을 알 수 있다.

전체 데이터에 대해 회귀분석한 결과, 상관계수가 약 0.91로 비교적 높고, 분산도 작음을 알 수 있다.

측정가능 범위는 함수비는 3~13%의 범위를 함수비 값의 변화에 제약받지 않고 측정할 수 있으며, 다짐도는 약 70~90%까지 콘 관입깊이 만으로 측정값을 획득할 수 있다. 그러나 목표로 했던 다짐도 75~95%값을 얻기에는 부족한 감이 있다.

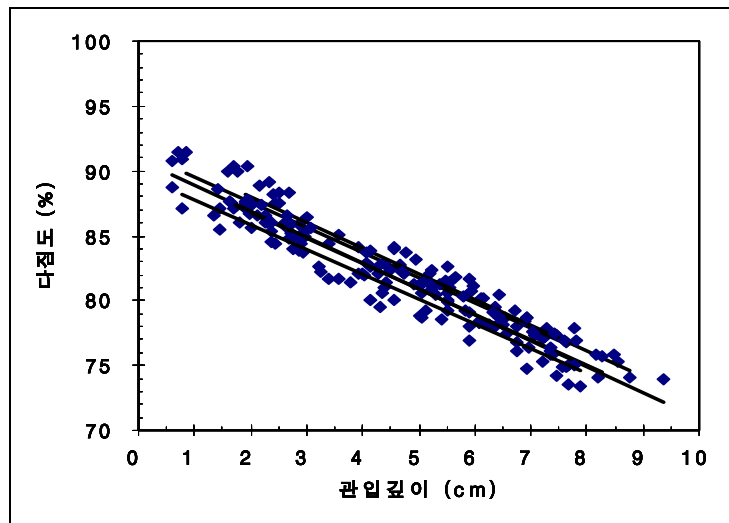


그림 81 다짐도에 대한 합침

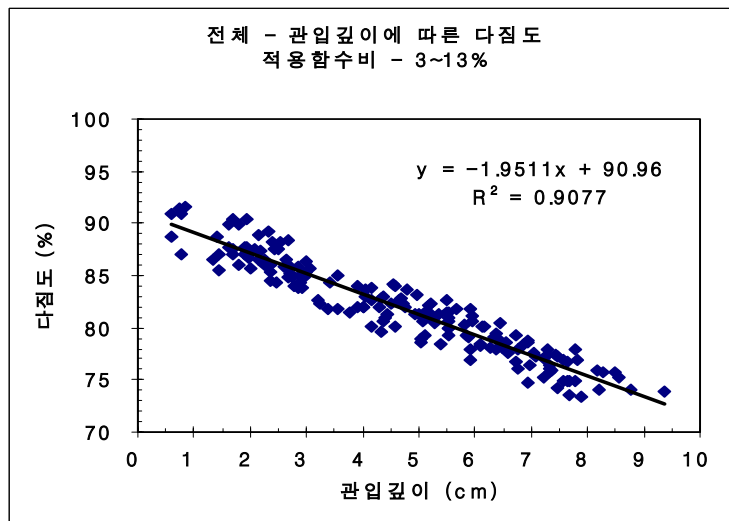


그림 82 다짐도에 대한 합침

라. 스프링 13, 14, 17kg + 콘 2번 조합찾기 실험

다짐도 측정 범위를 75%~95%까지 확대하기 위하여 3종류의 강한 스프링과 콘 2번 조합으로 실험을 실시하였으며, 함수비 11%~13%, 다짐도 80%~95%로 변화시켜 가면서 최적의 조합을 구했다.

실험결과, 스프링 17kg에 콘 2번 조합이 비교적 만족한 값을 보이는 것으로 분석되었다.

1) 금강

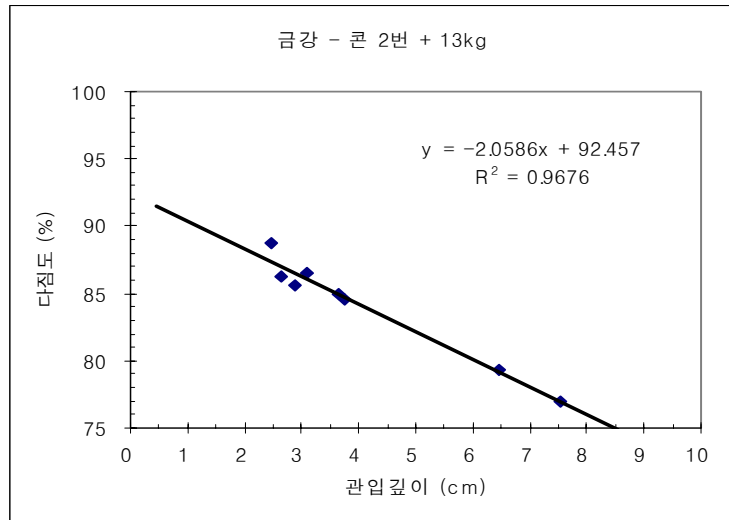


그림 83 콘 2번 + 스프링 13kg

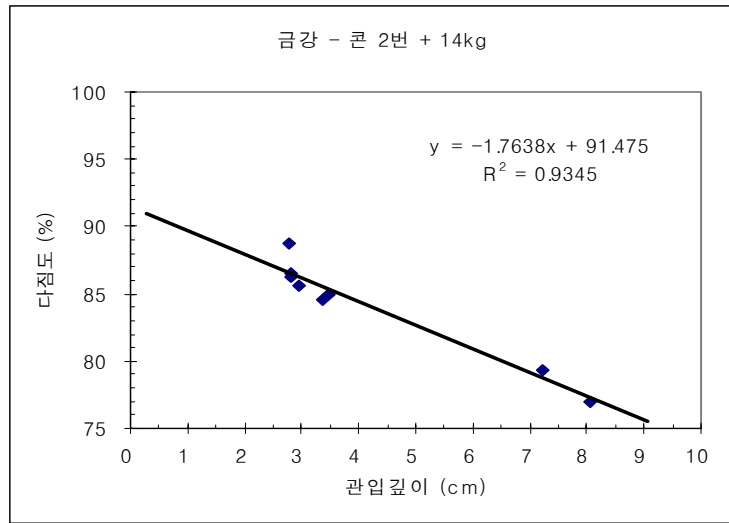


그림 84 콘 2번 + 스프링 14kg

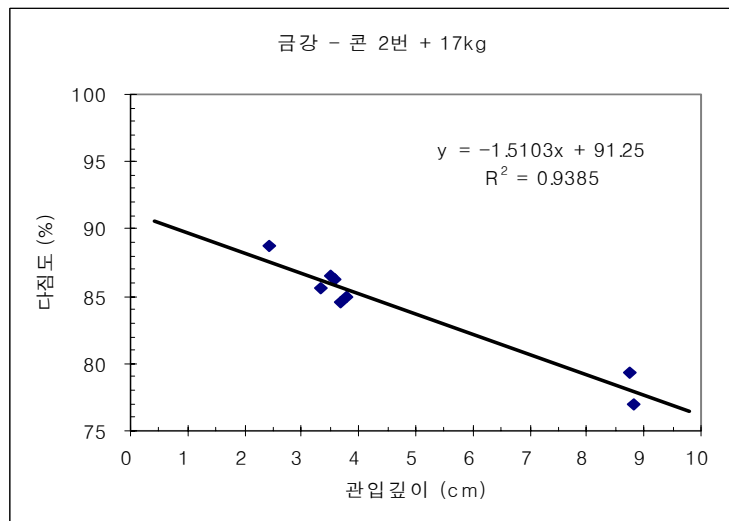


그림 85 콘 2번 + 스프링 17kg

2) 섬강

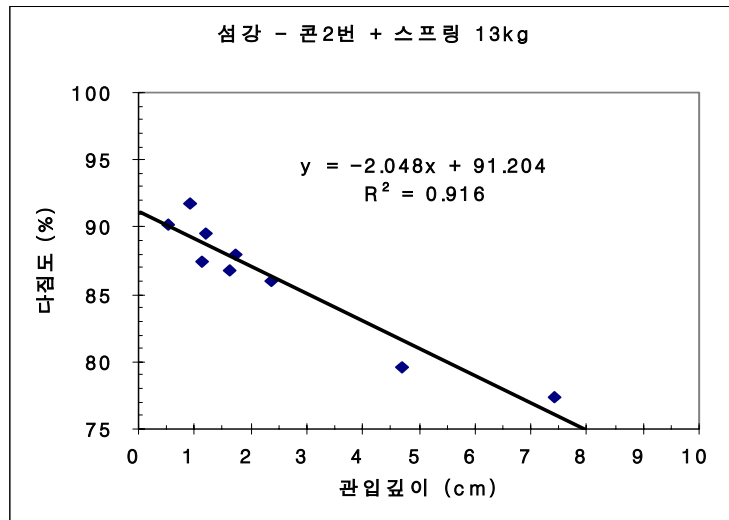


그림 86 콘 2번 + 스프링 13kg

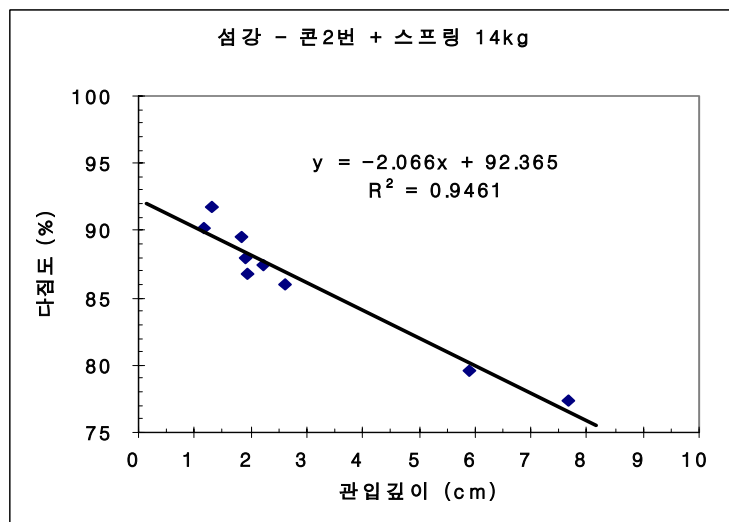


그림 87 콘 2번 + 스프링 14kg

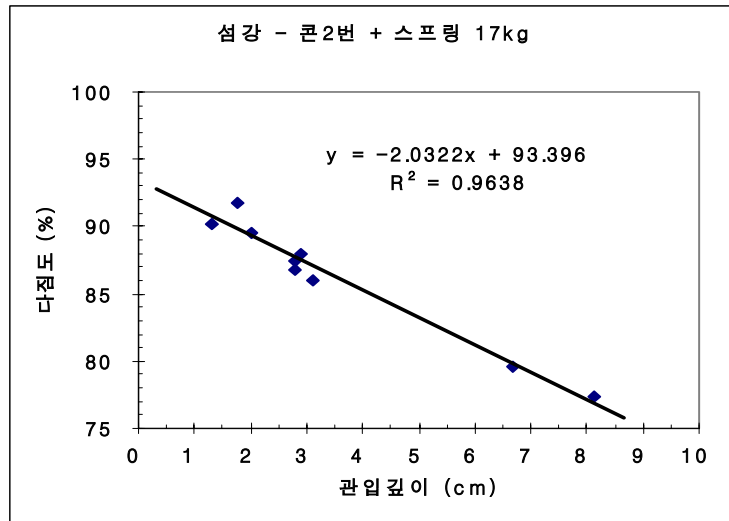


그림 88 콘 2번 + 스프링 17kg

마. 스프링 17kg + 콘 2번 조합 실험

스프링 17kg + 콘 2번 조합을 가지고 각 지역에서 채취된 강모래를 함수비 3%~12%, 다짐도 범위 75%~95%로 변화 시켜 가면서 다짐도와 관입깊이에 대한 상관관계식을 구했다.

1) 황강

함수비를 3~13%까지 변화시켜서 관입깊이에 대한 다짐도 값을 실험하였고, 분석결과, 다음과 같은 특징을 보였다.

- (1) 콘의 관입깊이로 모래의 자연 건조함수비인 3% 대에서 포화함수비인 13%정도까지 비교적 정확한 다짐도 값을 얻을 수 있는 것으로 분석 되었다.
- (2) 측정가능 다짐도 범위는 약 75%에서 95%이다.

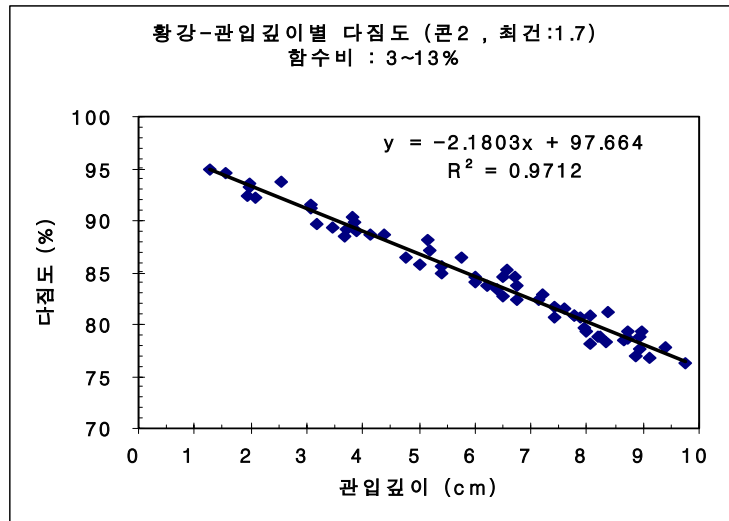


그림 89 관입깊이에 대한 다짐도

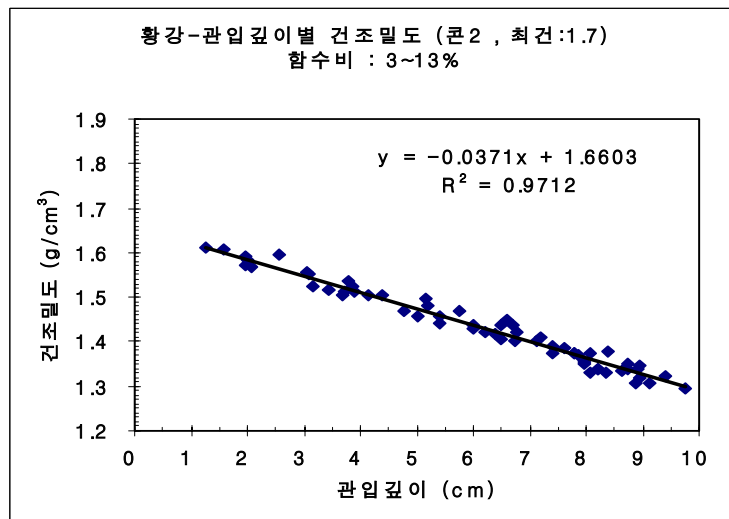


그림 90 관입깊이에 대한 건조밀도

2) 남한강

함수비를 2~12%까지 변화시켜서 관입깊이에 대한 다짐도 값을 실험하였고, 분석결과, 다음과 같은 특징을 보였다.

- (1) 함수비가 2~12%일 때, 관입깊이에 대한 다짐도 값의 상관계수가 낮고, 분산이 크다. 그래프에서 추세선 상단의 점들은 주로 함수비 2~3%미만의 값이다.
- (2) 함수비가 2~3%미만의 값과 3~12%값을 분리하여 그래프화 하면, 함수비 3~12%의 상관계수가 매우 높아지고, 분산도 작게 나타난다.
- (3) 즉, 콘의 관입깊이로 모래의 자연 건조함수비인 3%에서 함수비 12%정도까지 비교적 정확한 다짐도 값을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.
- (4) 측정가능 다짐도 범위는 약 75%에서 95%이다.

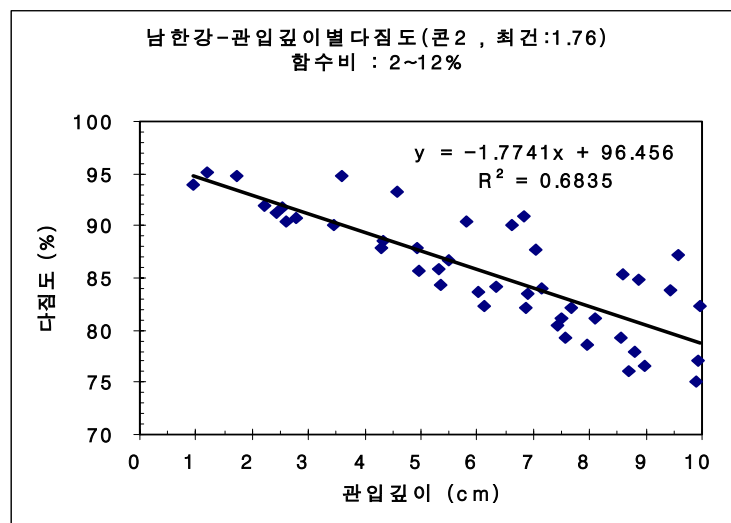


그림 91 관입깊이에 대한 다짐도

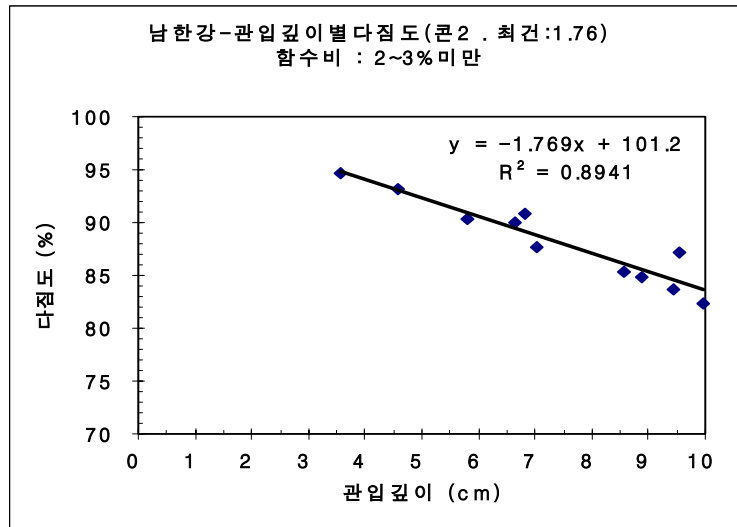


그림 92 관입깊이에 대한 건조밀도

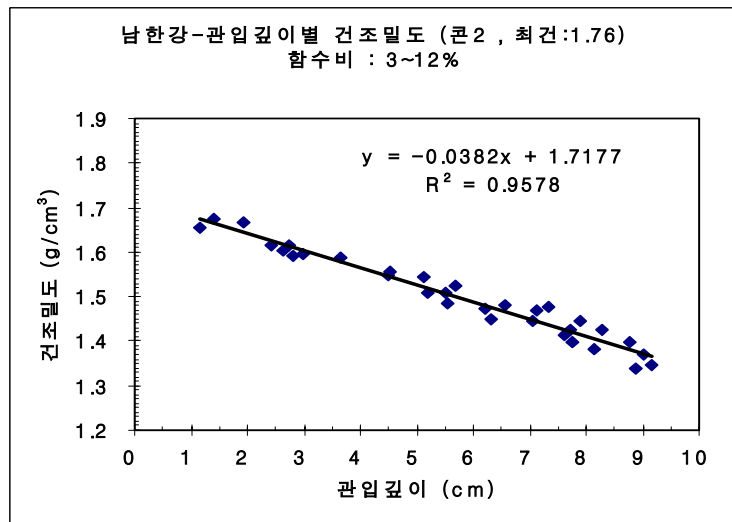


그림 93 관입깊이에 대한 다짐도

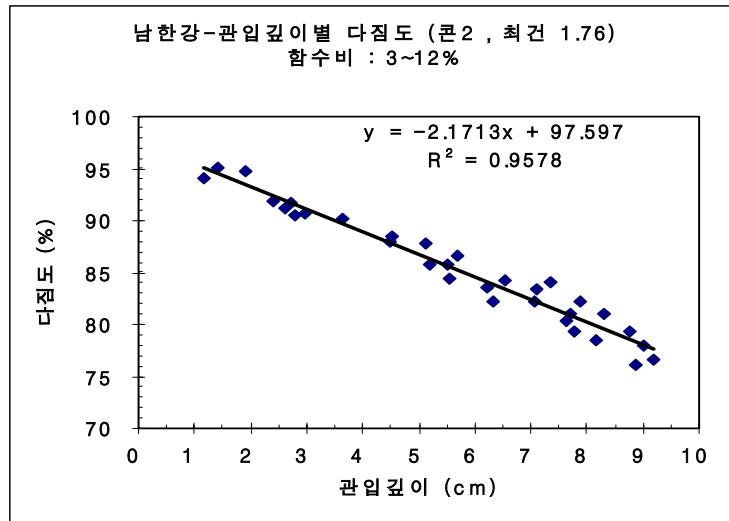


그림 94 관입깊이에 대한 건조밀도

3) 금강

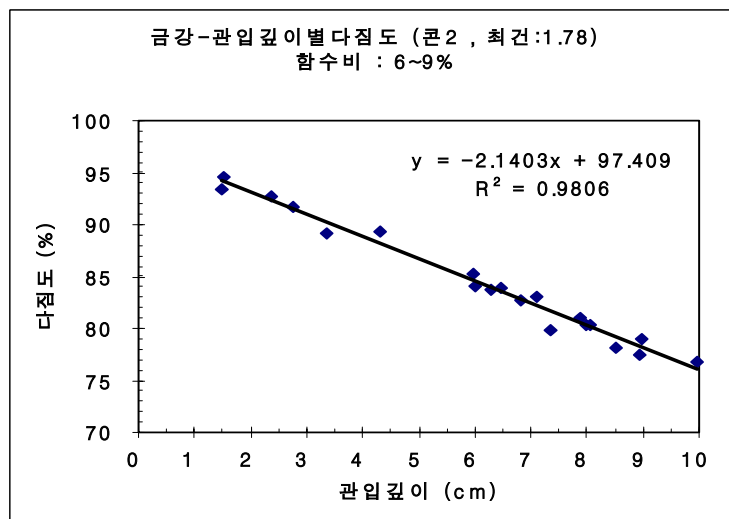


그림 95 관입깊이에 대한 다짐도

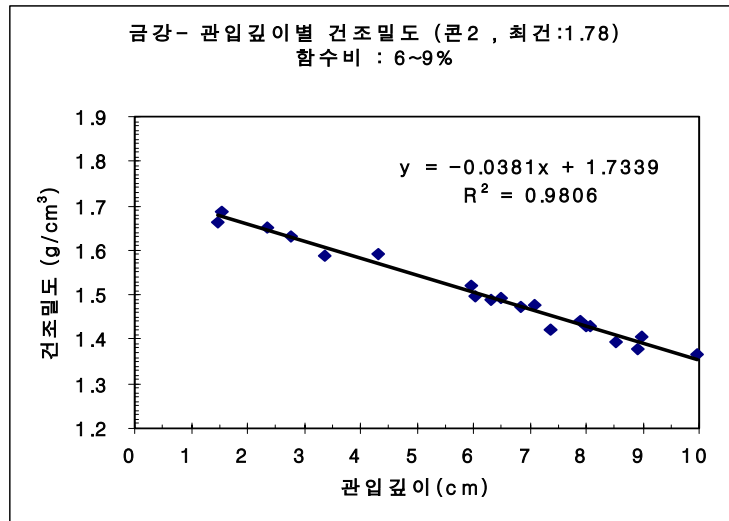


그림 96 관입깊이에 대한 건조밀도

4) 섬진강

함수비를 2~10%까지 변화시켜서 관입깊이에 대한 다짐도 값을 실험하였고, 분석결과, 다음과 같은 특징을 보였다.

- (1) 함수비가 2~10일 때, 관입깊이에 대한 다짐도 값의 상관계수가 낮고, 분산이 크다. 그래프에서 추세선 상단의 점들은 주로 함수비 2~3%의 값이다.
- (2) 함수비가 2~3%미만의 값과 3~10%값을 분리하여 그래프화 하면, 함수비 3~10%의 상관계수가 매우 높아지고, 분산도 작게 나타난다.
- (3) 즉, 콘의 관입깊이로 모래의 자연 건조함수비인 3%에서 함수비 13%정도까지 비교적 정확한 다짐도 값을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.
- (4) 측정가능 다짐도 범위는 약 75%에서 95%이다.

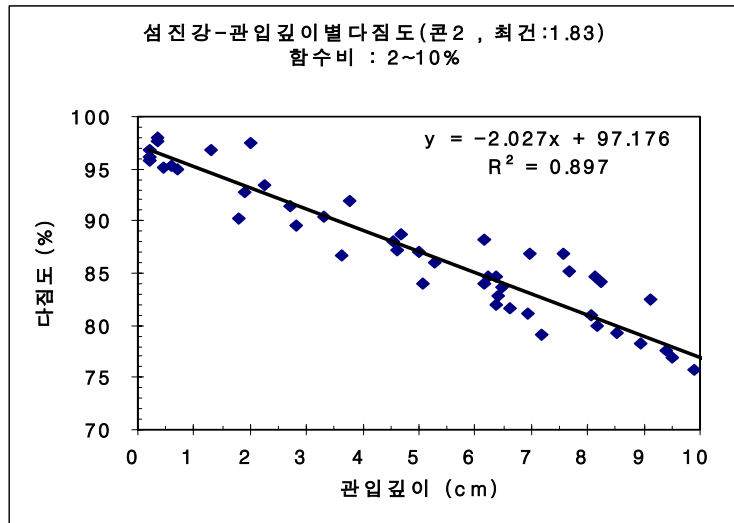


그림 97 관입깊이에 대한 다짐도

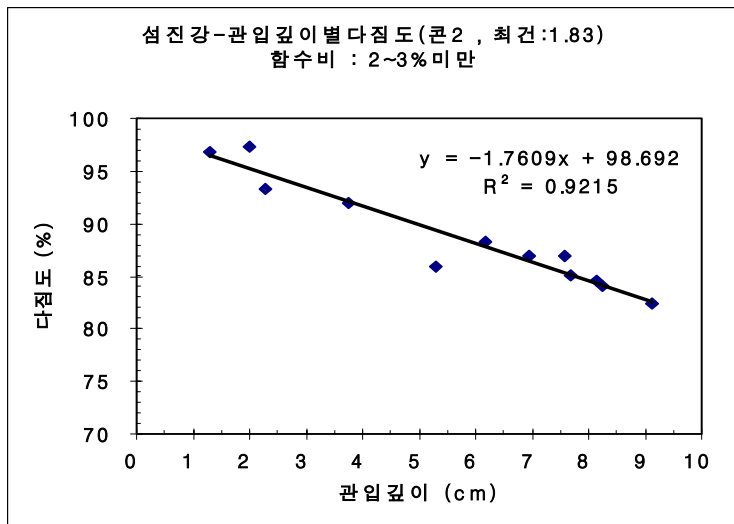


그림 98 관입깊이에 대한 건조밀도

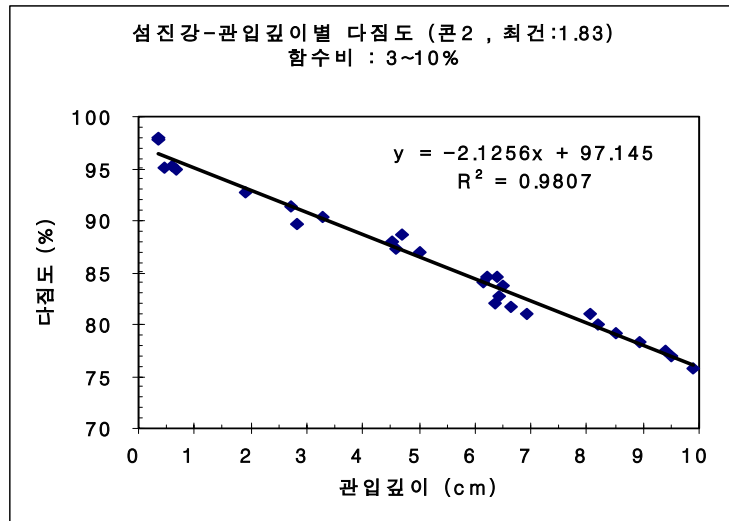


그림 99 관입깊이에 대한 다짐도

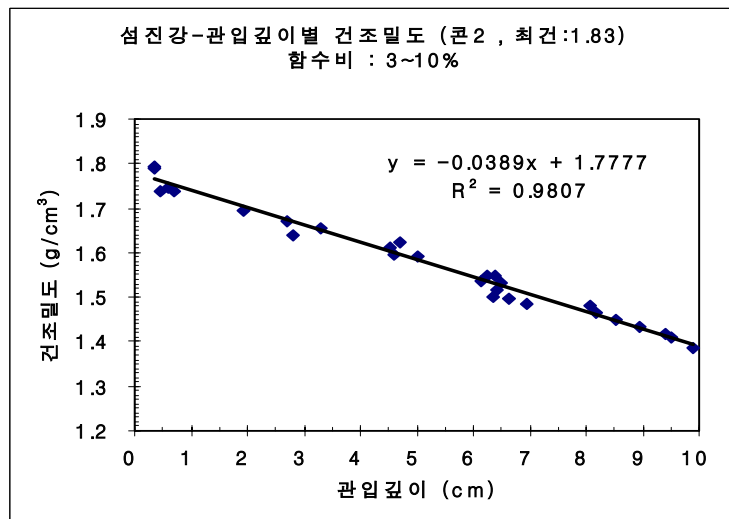


그림 100 관입깊이에 대한 건조밀도

5) 섬강

함수비를 6~11%까지 변화시켜서 관입깊이에 대한 다짐도 값을 실험하였고, 분석결과, 다음과 같은 특징을 보였다.

- (1) 콘의 관입깊이로 함수비 6%~11%까지 비교적 정확한 다짐도 값을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.
- (2) 측정가능 다짐도 범위는 약 75%에서 95%이다.

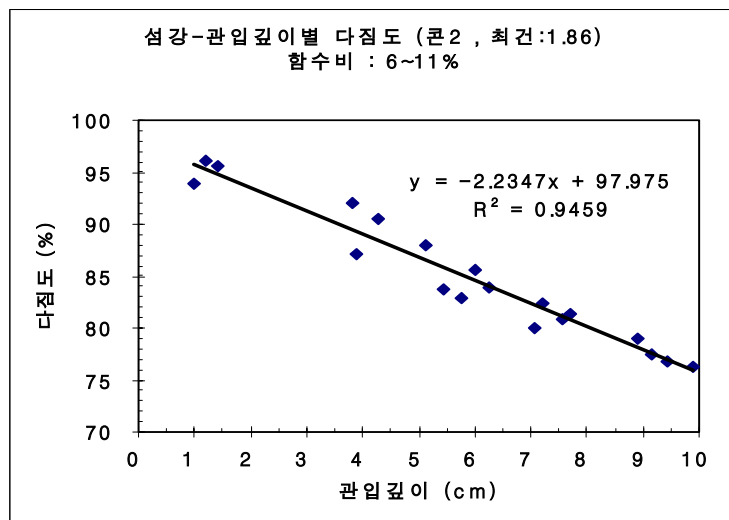


그림 101 관입깊이에 대한 다짐도

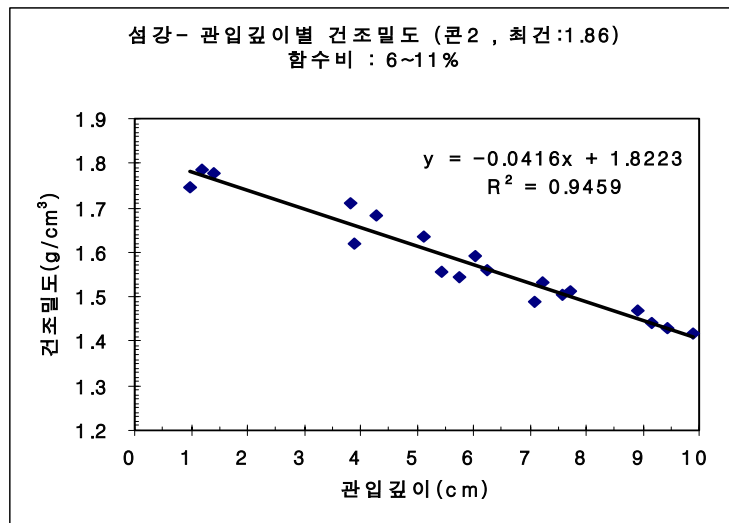


그림 102 관입깊이에 대한 다짐도

6) 전체 종합

그림 103~104은 1)~5)의 각 강에 대한 실험값 중에서 관입깊이에 대한 건조밀도의 상관관계 그래프를 하나의 차트에 나타낸 것이다. 특징은 최대건조밀도가 높은 순으로 추세선에 의한 공식의 y절편값이 작아지는 경향이 있고, 기울기는 모든 강에서 비슷한 값을 보인다(그림 79). 전체적으로 비교적 분산이 크고, 상관계수가 낮다(그림 80).

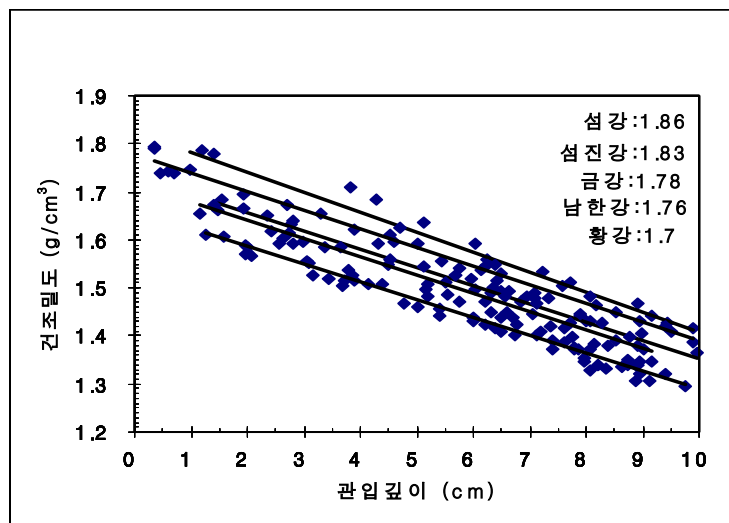


그림 103 각 강별 건조밀도

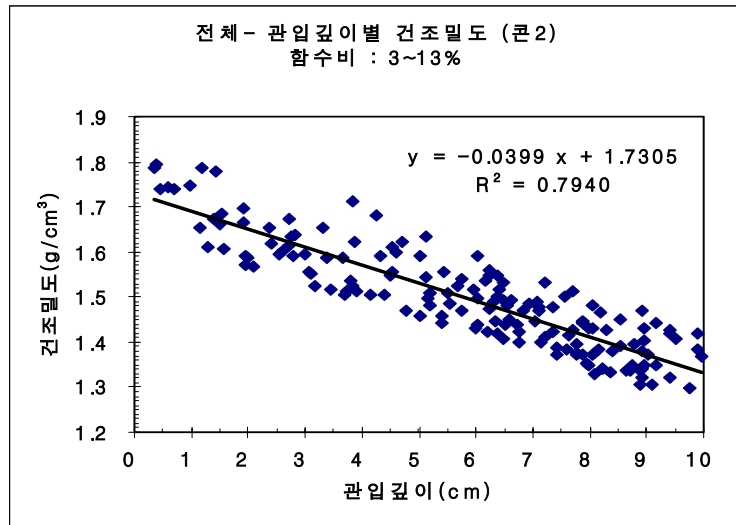


그림 104 건조밀도 종합

그림 101~102는 (1)~(5)의 각 강에 대한 실험값 중에서 관입깊이에 대한 다짐도의 상관관계 그래프를 하나의 차트에 나타낸 것이다. 특징은 건조밀도에 대해 해석한 것과는 다르게 일정한 회귀선으로 수렴함을 알 수 있다.

전체 데이터에 대해 회귀분석한 결과, 상관계수가 약 0.97로 비교적 높고, 분산도 작음을 알 수 있다.

측정가능 범위는 함수비는 3~13%의 범위를 함수비 값의 변화에 제약받지 않고 측정할 수 있으며, 다짐도는 약 75~95%까지 콘 관입깊이 만으로 측정값을 획득할 수 있어 장비 개발 목표 성능과 부합함을 알 수 있다.

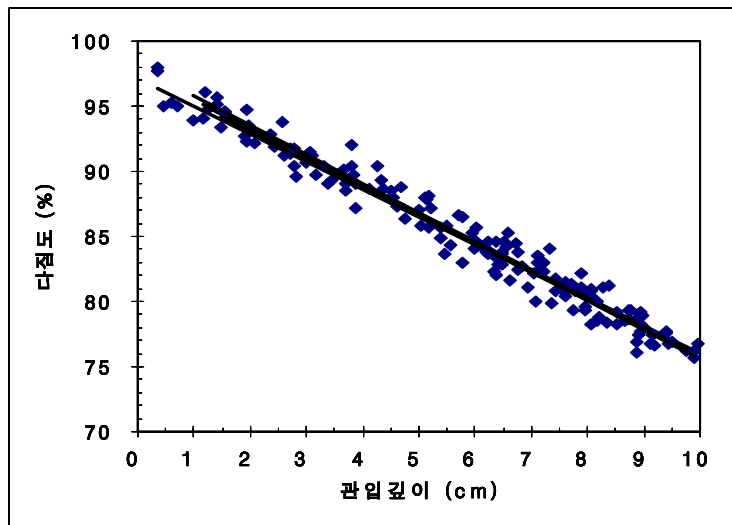


그림 105 각 강별 다짐도

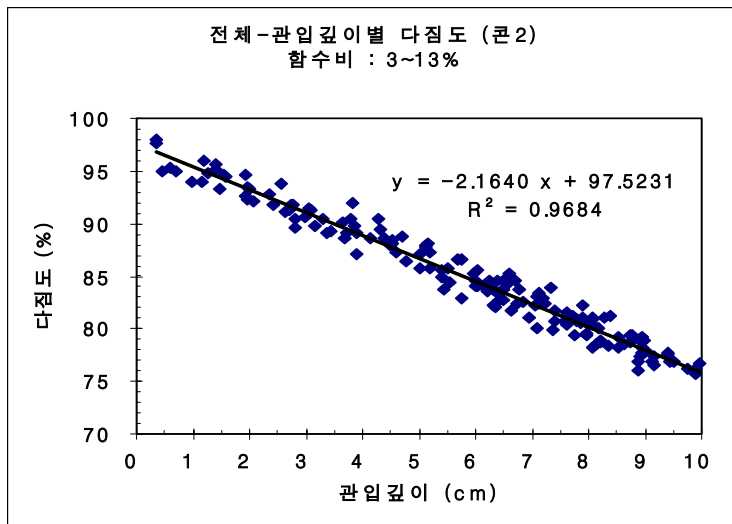


그림 106 다짐도 종합

3.4 분석 및 고찰

3.4.1 데이터 분석

지중배전관로 되메움재의 다짐도 판정을 위해 콘 관입법을 가지고 그 적용성을 실험하였고, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 콘 2번 + 스프링 17kg 조합

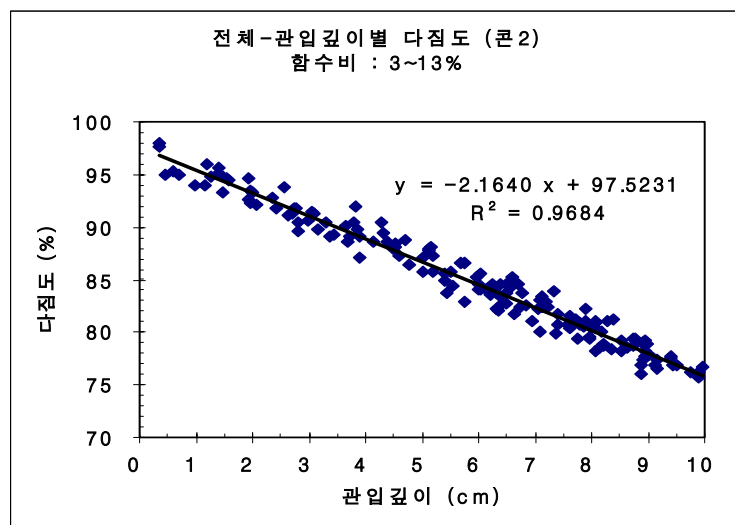


그림 107 콘 2번 + 스프링 17kg

강모래의 일반적인 특성을 보이는 되메움재라면 흙의 공학적 특성이나 최대 건조밀도에 제한받지 않고 다음과 같은 측정값을 얻을 수 있다.

- 다짐도 측정범위 : 76%~97%
- 측정 가능 함수비 범위 : 3%~13%

- 회귀분석식 : $y = -2.164x + 97.5231$

상관 계수 : $R^2 = 0.9684$

여기서, y : 다짐도

x : 관입깊이

이 조합은 목표로 했던 다짐도 측정범위 75%~95%에 만족하므로 측정기에 적용가능하고, 더욱이, 함수비와 강모래의 종류에 관계없이 관입깊이 만으로 강모래의 다짐도를 계측할 수 있다.

제 4장 결 론

지중배전관로 시공시 되메움재로 많이 사용되는 국내 강모래의 다짐특성을 규명하고자 국내 6개지역 경북 경주근교 강모래, 강원도 원주시 섬강, 전북 남원시 섬진강, 충남 금산군 금강, 충북 충주시 남한강, 경남 합천군 황강의 교란시료를 채취하여 시험을 하였다.

가. 6개 지역 강모래 시료의 비중은 2.63~2.67의 범위로 유사하게 나타났으며, 금강시료가 2.67로 가장크게 나타났고, 최대건조단위 중량은 섬강시료가 가장크게 나타났으며, 전반적으로 $1.70 \sim 1.86 \text{gf/cm}^3$ 의 분포를 나타냈다. 최적함수비는 11.30~13.80의 범위로 나타났다.

나. 지중배전관로 되메움재의 다짐도 판정을 위해 콘 관입법을 가지고 그 적용성을 실험하였고, 각 강에 대한 시험 값 중에서 관입깊이에 대한 건조밀도의 상관관계 그래프를 하나의 차트에 나타내면 최대건조밀도가 높은 순으로 추세선에 의한 공식의 y절편값이 작아지는 경향이 있고, 기울기는 모든 강에서 비슷한 값을 보인다(그림 79). 비교적 분산이 크고, 상관계수가 낮다(그림 80). 각 강에 대한 실험값 중에서 관입깊이에 대한 다짐도의 상관관계는 의 특징은 건조밀도에 대해 해석한 것과는 다르게 일정한 회귀선으로 수렴함을 알 수 있다(그림 105, 그림 106).

다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다

1) 다짐도가 높을수록 관입깊이는 감소하는 경향을 보인다.

2) 관입깊이 값에 대한 다짐도 값의 관계는 일차함수식으로 표현된다.

3) 대체적으로 낮은 상관계수를 보이고 있다.

다짐도가 75%~95% 사이의 값에 대응하는 콘의 관입깊이 값이 0~10cm까지 골고루 분포하는 것이다. 즉 다짐도가 75%일 때 관입깊이는 즉, 10cm 정도 이어야 하고, 다짐도가 95%일 때는 약 0cm의 값을 보일 때이다.

참고 문헌

1. 김용필(2002), “지반공학 시험법 및 응용”, 세진사.
2. 김팔규(1993), “토질역학 상론”, 학연사.
3. 박병기(1998), “지반역학”, 새론출판사.
4. 이대수(2002), “지중배전공사의 경제적 시공을 위한 신기술 개발”, 한국전력공사 전력 연구원.
5. 이상덕(1997), “토질시험의 원리와 방법”, 새론출판사.
6. 이시용(1993), “관로 포설공법의 개선연구”, 한국통신 가입자망 연구소.
7. 정인준, 김명모(1990), “알기쉬운 토질역학”, 문운당.
8. 조성수(1999), “지중배전 설계편람”, 한국전력공사 전력연구원.
9. Koumoto Tatsuya (1999) : Mechanism of Static Cone Penetration Testing
P.9~12. 흙과 기초 Vol.47 No.9 Ser. No.500
10. Tsuzuki Makoto (1999) : Applicability of CPT and Available Cone Systems
P.13~16. 흙과 기초 Vol.47 No.9 Ser. No.500
11. Saitou Kunio (1999) : Applications of CPT Results to Practical Design Work
P.17~20. 흙과 기초 Vol.47 No.9 Ser. No.500
12. Mimura Mamoru 외 1명 (1999) : Assessment of Liquefaction Resistance for Sandy Deposit with CPT
P.21~24. 흙과 기초 Vol.47 No.9 Ser. No.500
13. Matsuo Osamu 외 1명 (1999) : Evaluation of Cone Penetration Testing as an In situ Liquefaction Resistance Measurement for dense Sands
P.25~27. 흙과 기초 Vol.47 No.9 Ser. No.500
14. Sekiune Etuso 외 3명 (2000) : Compaction Control by Using a Falling Weight in Railway Embankment Work
P.13~16. 흙과 기초 Vol.48 No.4 Ser. No.507

15. Husiyama Tetsuo와 1명 (2000) : On Compaction Quality Control of Coarse-grained Soil by the Acceleration of a Vibratory Roller
P.17~20. 흙과 기초 Vol.48 No.4 Ser. No.507
16. Kitamoto Yukiyesi와 3명 (2000) : A Quality Control of Thick Thicker Spreading Depth Layer Compaction by the Impact Characteristics
P.25~28. 흙과 기초 Vol.48 No.4 Ser. No.507
17. Ueno Nobumasa와 3명 (2000) : Development and Applicability of a Construction Control Technique for Embankment Using Apparent Resistivity
P.29~32. 흙과 기초 Vol.48 No.4 Ser. No.507

SUMMARY

1. Title :

Development on degree of compaction measurement equipment for backfill material of underground electric distribution pipe

2. Objective and Necessity of the Study

Underground construction for power distribution system enlarge the scope over several kilometers with social demand and as an increasing construction scale quality control is coming to the fore.

However degree of compaction measurement for backfill material of underground electric distribution pipe is not well systemic. This is the important item of quality control of underground construction.

Because there is no equipment what stand to its trait, after finished the construction, road breakage and vehicle load can be occur damage of underground electric distribution pipe. In addition its breakage result in an electricity failure by seepaging rainwater the inside of the pipe.

For improving these problems, it is in urgent need of development of degree of compaction measurement in backfill that is attempting high quality control and construction elevation in the worst condition of construction of underground power distribution system has done in a short time at night decreasing traffic volume.