



# 국내 강모래의 다짐특성 분석

## The Compaction Characteristics Analysis of Domestic River Sands

황 성 춘\*      오 병 현\*\*  
Hwang, Seong Chun   Oh, Byung Hyun

### Abstract

Tests are conducted to analyze the compaction characteristics of domestic river sand used frequently for backfill in construction of electrical pipeline. As a result of test, the range of specific gravity of sand is found to be in between 2.63 and 2.67, and of maximum dry weight of sand is in between 1.70 g/cm<sup>3</sup> and 1.86 g/cm<sup>3</sup>. Also, the optimum moisture content is found to be in between 11.3% and 13.8%. The variability of compaction degree with respect to compaction energy is well captured by hyperbolic function.

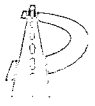
**Keywords :** *compaction test, degree of compaction, hyperbolic function*

### 요 지

본 연구는 지중배전관로 시공시 되메움재로 많이 사용되는 대표적인 국내 강모래의 다짐특성을 규명하고자 한국공업규격 (KS 규격)에 따른 기본 물성시험 및 다짐시험을 실시하였다. 시험결과 비중은 2.63~2.67 범위에 해당되어 입도분포는 빈 입도의 영역에 속함을 알 수 있었다. 또한, 다짐시험결과 최대 건조단위중량은 1.70~1.86gf/cm<sup>3</sup>, 최적함수비는 11.30~13.80%의 범위로 나타났다. 다짐에너지에 따른 다짐도의 변화경향은 일련의 쌍곡선 함수식으로 잘 근사되는 것을 알았으며, 이와 같이 구해진 다짐도로 우리나라의 대표적인 강모래의 다짐특성을 규명하는 것이 가능했다.

핵심용어 : 다짐시험, 다짐도, 쌍곡선함수

\* 정회원 · 경주대학교 건설환경공학부 조교수  
\*\* 한국수자원공사 댐안전연구소 수석연구원



## 1. 서론

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

지중배전관로 시공시에 되메움재의 다짐도 관리는 도로의 파손 및 차량하중으로 인한 지중배전관로의 파손을 야기하는 직접적인 요인으로서 다짐도에 대한 품질관리의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않다. 따라서 본 연구에서는 지중배전관로 시공시 되메움재로 많이 사용되는 대표적인 국내 강모래를 대상으로 기본 물성시험 및 일련의 다짐시험을 실시하여, 국내 강모래의 특성을 규명함으로써 보다 효율적인 다짐도 관리를 위한 기본 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 다짐시험 이론

다짐이란 램머, 롤러 또는 진동기 등과 같은 장비를 사용하여 흙 속의 공기량을 감소시켜 흙의 건조단

위중량을 증가시키는 것으로서, 다짐의 목적은 흙의 강도증가, 과도한 침하방지 및 감소, 투수성의 감소, 지지력의 증가 및 동상이나 수축 등으로 인한 부피변화의 억제 등을 들 수 있다. 흙의 다짐정도는 건조단위중량으로 표시하는 것이 일반적이며, 다진 후 얻어지는 건조단위중량은 흙의 종류, 함수비 그리고 다짐장비에 의해 제공되는 에너지 등에 좌우된다.

다짐시험은 1933년경에 Proctor가 흙댐의 시공관리를 위하여 제안한 바 있는데, 이 시험 방법은 현장에서 다짐장비로 다지는 것과 비슷한 정도의 단위중량이 실험실에서 얻어지도록 하는 것으로서 현장시험보다 경제적이고 신속하기 때문에 자주 적용된다.

우리나라에서는 KS F2312에 다짐시험방법을 규정하고 있으며, 몰드지름, 램머무게, 낙하높이, 다짐층수, 타격횟수, 허용최대입경 등에 따라 표 1과 같이 A, B, C, D, E 5가지 방법으로 구분된다. 또한, 다진 흙의 전체단위중량과 함수비를 측정하여 다음 식으로 건조단위중량을 산출한다.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1+w} \quad (1)$$

여기서,  $\gamma_d$ 는 건조단위중량,  $\gamma_t$ 는 습윤단위중량,  $w$ 는 함수비이다.

흙에 대하여 함수비를 변화시키면서 적어도 5회 이상 실험을 반복하여 얻은 결과로부터 함수비와 건조단위중량의 관계를 그림으로 나타내면 그림 1과 같은 다짐곡선을 얻는 것이 가능한데, 이 곡선을 Proctor곡선이라고 부른다.

표 1. 실내 다짐방법의 종류(KS F 2312)

다짐방법		램머무게 (kgf)	낙하고 (cm)	몰드체적 (cm <sup>3</sup> )	다짐방법		허용최대입경 (mm)
					층수	타격수	
표준	A	2.5	30	1000	3	25	19.0
	B	4.5	45	2209	3	55	37.5
수정	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

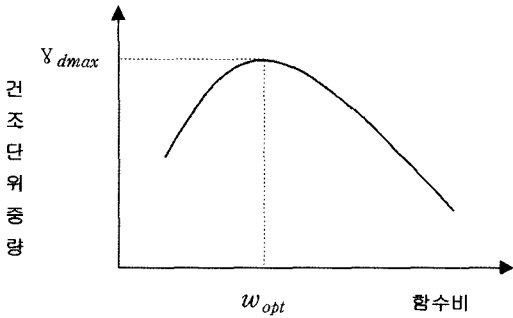


그림 1. 다짐 곡선

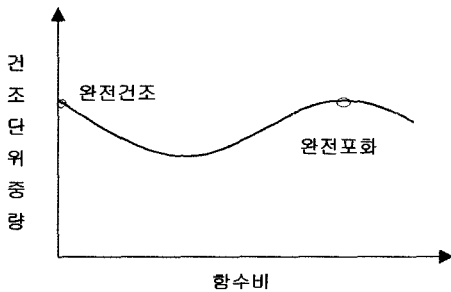


그림 2. 모래의 다짐 곡선

그림 1은 D 다짐방법을 이용하여 구한 최대 건조단위중량( $\gamma_{dmax}$ )으로 이 최대건조중량이 얻어질 때의 함수비를 최적함수비( $\omega_{opt}$ )라고 한다. 흙의 다짐을 할 때에 있어서 같은 다짐에너지로 최대의 다짐효과를 얻으려면 주어진 흙의 함수비를 최적함수비가 되도록 하는 것이 중요하다. 이 최적함수비는 다짐에너지의 크기에 따라서 변화되며, 다짐에너지가 증가할수록 최적 함수비는 감소하고 최대 건조단위중량은 증가한다.

다짐을 하는 동안 원활하고도 충분하게 배수가 이루어져 과잉간극수압이 발생하지 않는 사질토라면 다짐곡선은 개략적으로 그림 2와 같은 그래프의 형상으로 나타나는 것이 일반적이라 할 수 있다. 또한, 함수비가 매우 적을 때에는 다짐이 행해지는 동안 흙입자의 이동은 마찰에 의해 저항이 발생되지며 물을 약간 가하면 팽화(Bulking) 현상에 의해 느슨한 상태가 되어 체적이 증가하여 건조단위중량은 공기 건조 조건보다도 감소되어진다. 일반적으로 최적함

수비는 완전포화시의 함수비와 거의 같으며, 최적함수비 이상의 물을 가하면 여분의 물은 간극을 통해 쉽게 배수되어진다.

실내 다짐시험 결과는 현장에서의 다짐재료의 선정 또는 분류를 위하여 이용되어지며, 현장에서의 다짐 정도는 식(2)의 상대 다짐도(relative compaction)로써 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{상대다짐도}(\%) &= \frac{\text{다짐시공후의 현장건조단위중량}}{\text{실내시험의 최대건조단위중량}} \\ &= \frac{\gamma_d(\text{field})}{\gamma_{dmax}} \times 100 \end{aligned} \quad (2)$$

현장에서 다짐시공방법을 규정할 경우에는 상대다짐도와 다짐함수비를 명시하게 되며, 일반적인 되메우기 작업의 다짐도는 90% 이상으로 규정하고 있다.

### 3. 기본 물성시험 및 다짐시험

#### 3.1 시험시료

본 연구에서는 보편적으로 되메우기 재료로 사용되어지고 있는 강모래의 기본물성 및 다짐특성을 규명하고자 그림 3과 같은 5개 지역에 분포하는 시료

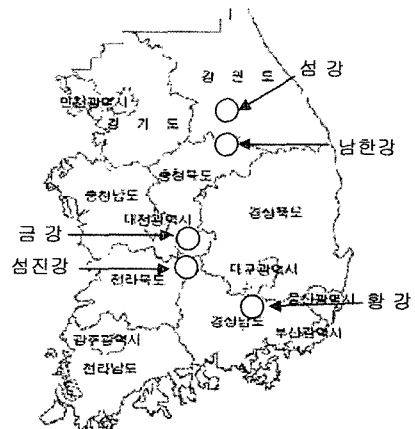


그림 3. 시료채취 위치도



를 채취하여 시험을 하였다. 시험에 사용된 시료는 강원도 원주시 섬강, 경남 합천군 황강, 전북 남원시 섬진강, 충남 금산군 금강 및 충북 충주시 남한강의 교란시료를 이용하였다.

### 3.2 기본물성시험

국내 5개 지역 강모래의 기본물성 시험 결과는 표 2 및 그림 4~7과 같다. 시험결과 5개 지역의 비중

은 2.63~2.67의 범위로 유사하게 나타났으며, 금강 시료가 2.67로 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 유효입경은 금강시료가 0.25mm로 가장 크며, 0.13~0.25mm의 범위로 나타났다. 균등계수는 2.39~6.40의 분포를 나타내며, 곡률계수는 0.97~1.75의 범위로 나타났다.

국내 5개 지역 강모래의 입도분포 곡선은 그림 8과 같다. 5개 지역 시료 모두 전반적인 입경이 5.0mm~0.2mm범위의 좁은 구간에 분포하는 빈입도

표 2. 기본물성 시험 결과

구 분	비 중 ( $G_s$ )	유효입경 ( $D_{10}$ , mm)	균등계수 ( $C_u$ )	곡률계수 ( $C_c$ )	통일분류
황 강	2.64	0.23	2.39	0.97	SP
섬진강	2.64	0.15	6.40	1.17	SW
금 강	2.67	0.25	2.88	1.18	SP
섬 강	2.63	0.18	5.28	1.18	SP
남한강	2.64	0.13	5.15	1.75	SP

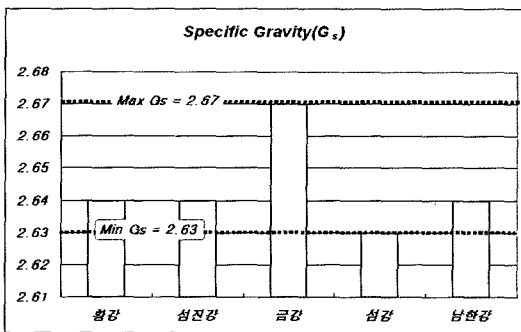


그림 4. 비중의 분포

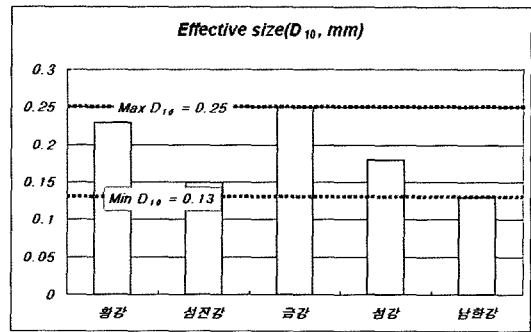


그림 5. 유효입경의 분포

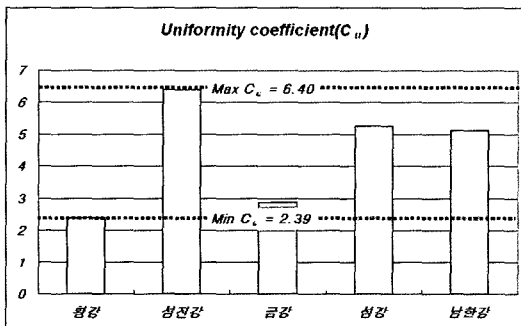


그림 6. 균등계수의 분포

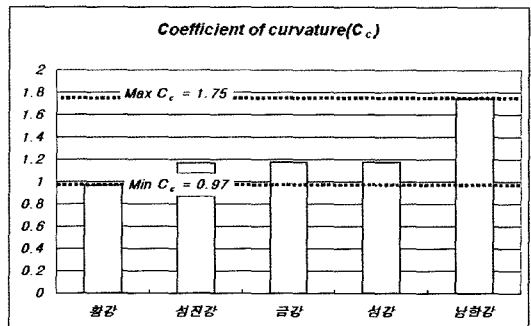


그림 7. 곡률계수의 분포

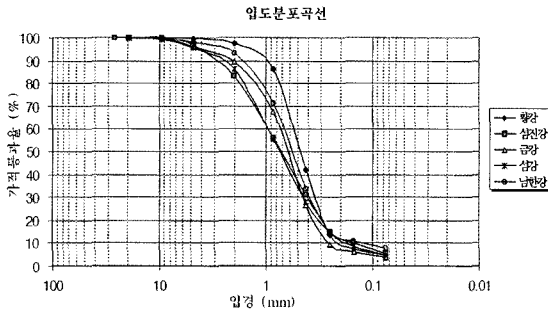


그림 8. 입도분포곡선

의 양상을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 통일분류법에 의한 분류기준에 따르면 섬진강 시료만 양입도인 SW로 분류되었으며, 그 이외의 시료는 모두 빈입도인 SP로 분류되었다.

### 3.3 다짐시험

강모래 시료의 다짐특성을 규명하고자 D다짐을 실시한 결과를 그림 9~11에 나타내었다. 시험결과에 따르면 최대건조단위 중량은 섬강시료가 가장 크며, 전반적으로 1.70~1.86gf/cm<sup>3</sup>의 분포에 있을 것을 알 수 있다. 최적함수비는 11.30~13.80%의 범위로 나타났으며, 섬진강 시료의 최적함수비가 가장 큰 것을 알 수 있었다. 이러한 최적함수비의 분포는 대략 포화도 60~80%범위에 존재하는 하고 있으며, 황강시료만 최적함수비가 포화도 60% 이하구간에서 나타났다.

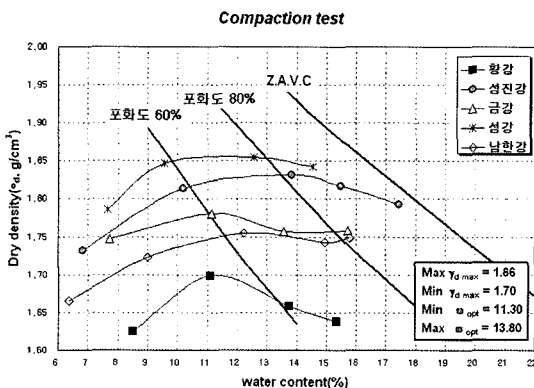


그림 9. 다짐시험 결과

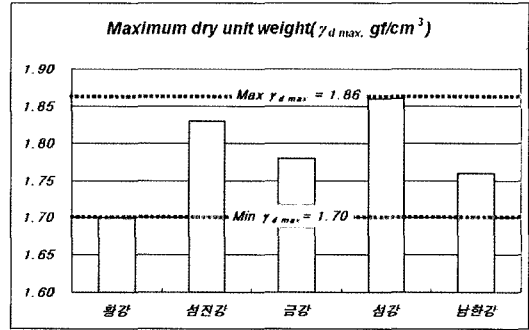


그림 10. 최대건조단위중량의 분포

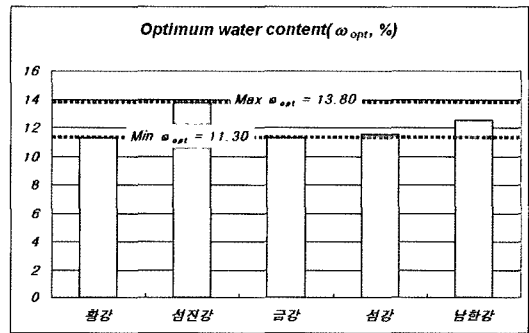


그림 11. 최적함수비의 분포

### 3.4 다짐도 특성

국내 5개 지역 강모래의 다짐에너지의 차이에 따른 다짐도 특성을 분석하고자 표 3과 같이 함수비 및 다짐에너지를 일정한 조건으로 변화시켜 시험을 실시하였다. 시험방법으로는 다짐 층수는 3층으로 고정하였으며, 넓은 범위의 다짐도 변화를 고려하기 위하여 다짐에너지를 0.08~32.47 kgf·cm/cm<sup>3</sup> 범위 즉, 모래의 다짐도가 75~100%가 되는 에너지로 변화시켜 적용하였다. 이와 같은 다짐 에너지를 설정하는 이유는 이 다짐도에서 도로의 침하나 관개의 파괴에 영향이 가장 작게 작용하는 것에 기인한다. 또한 함수비 변화에 따른 영향을 고려하기 위하여 각 시료에 대하여 3~13%의 범위로 변화시켜 시험을 수행하였다. 이상과 같은 조건으로 5개 지역 시료에 대하여 수행한 총 시험횟수는 228회이다.



표 3. 다짐도 특성분석을 위한 시험방법

구 분	적용 함수비(%)	다짐에너지(kgf·cm/cm <sup>3</sup> )
황 강	3, 5, 7, 9, 11, 13	0.08~32.47 (12 case)
섬진강	3, 5, 8, 13	
금 강	7, 13	
섬 강	3, 7, 11	
남한강	3, 6, 9, 13	

다짐도 특성분석을 위한 다짐시험에 있어서 몰드의 구속효과를 감소시키며, 보다 현장상태에 가까운 다짐을 수행하기 위하여 사진 1과 같은 직경 40cm, 높이 20cm의 대형 몰드를 제작하여 사용하였으며, 몰드가 대형화됨에 따른 다짐에너지 효과를 고려하여 사진 2와 같은 무게 4kgf의 램머를 제작하여 사용하였다.

5개지역 강모래의 다짐에너지 및 함수비 변화에 따른 다짐도의 변화 경향은 그림 12~16과 같다. 그

리고 시험결과에 의하면 전체시료 모두가 동일 다짐 에너지에서 함수비 변화에 따른 다짐도의 변화량은 뚜렷한 경향을 나타내지 않으며, 다짐도의 변화량은 미소한 것으로 나타났다. 따라서, 적용된 전체 함수비에 대하여 다짐에너지에 대한 다짐도의 관계를 도시한 결과 2차곡선의 경향과 잘 일치하는 것으로 나타났다. 각 시료의 다짐에너지에 대한 다짐도의 관계를 2차곡선으로 나타낸 식은 표 4와 같다. 각 시료간의 다짐도-다짐에너지의 관계 또한 매우 유사한 경향으로 나타났기 때문에 그림 17과 같이 전체 5개 지역 시료의 시험결과 모두를 2차 곡선으로 도시한 결과 식(3)과 같이 나타났으며, 결정계수도 0.92로 높게 나타났다.

$$\text{다짐도}(\%) = 83.36 \times (\text{다짐에너지})^{0.035} \quad (3)$$

이상의 시험 결과 전체 5개 지역 시료의 다짐도-다짐에너지 관계가 2차 함수식으로 잘 근사되었고 또한, 이 결과를 지반공학 분야에서 널리 적용되어지고 있는 쌍곡선 함수식을 적용하여 다짐에너지에 따른 다짐도 관계를 일반화하여 보았다.

그림 18은 쌍곡선 함수의 파라미터를 결정하기 위하여 종축을 (다짐에너지/다짐도), 횡축을 다짐에너지로 설정하여 시험결과를 도시한 것으로 직선성이 뚜렷하게 나타나며, 상관계수 또한 0.99 이상으로 시험결과와 잘 부합하는 것으로 나타났다.

그림 19는 그림 18에서 구한 파라미터를 적용하여 쌍곡선 함수식으로 다짐에너지에 따른 다짐도의 관계를 도시한 것이다. 그림과 같이 5개 지역 강모래의

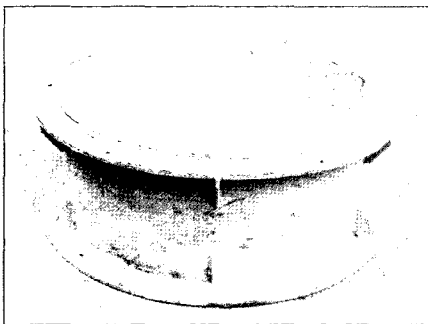


사진 1. 다짐 몰드



사진 2. 다짐 램머

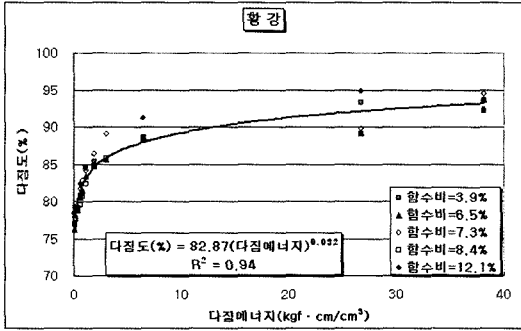


그림 12. 다짐도-다짐에너지(황강)

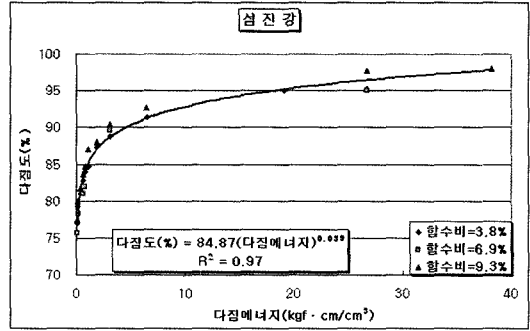


그림 13. 다짐도-다짐에너지(섬진강)

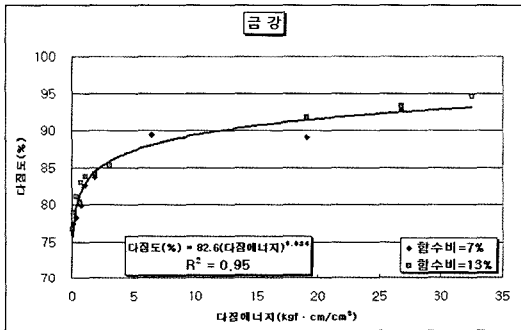


그림 14. 다짐도-다짐에너지(금강)

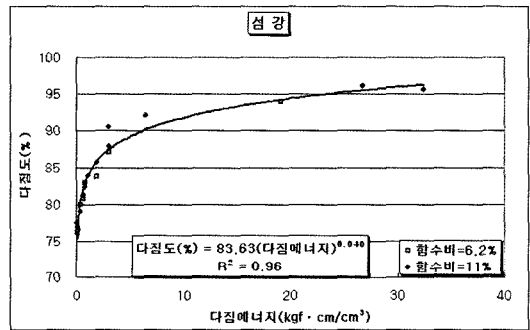


그림 15. 다짐도-다짐에너지(섬강)

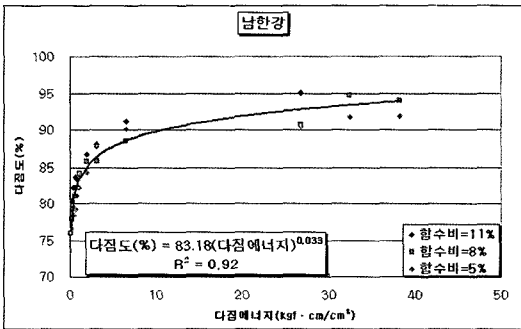


그림 16. 다짐도-다짐에너지(남한강)

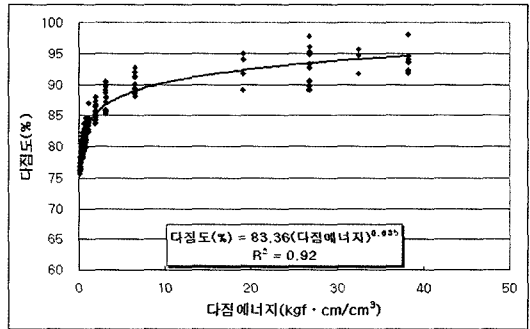


그림 17. 다짐도-다짐에너지(전체시료)

표 4. 다짐도-다짐에너지 관계

구 분	다짐도-다짐에너지 관계식	상관계수(R <sup>2</sup> )
황 강	다짐도(%) = 82.87 × (다짐에너지) <sup>0.032</sup>	0.94
섬 진 강	다짐도(%) = 84.87 × (다짐에너지) <sup>0.039</sup>	0.97
금 강	다짐도(%) = 82.60 × (다짐에너지) <sup>0.034</sup>	0.95
섬 강	다짐도(%) = 83.63 × (다짐에너지) <sup>0.040</sup>	0.96
남 한 강	다짐도(%) = 83.18 × (다짐에너지) <sup>0.033</sup>	0.92

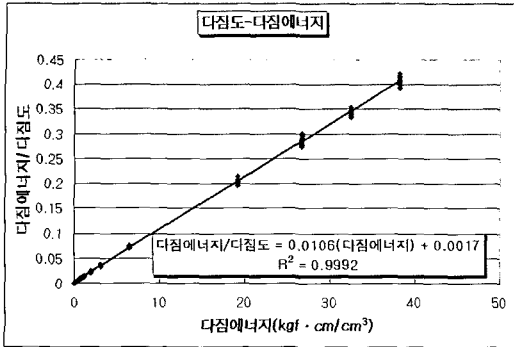
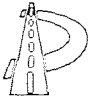


그림 18. (다짐에너지/다짐도)-다짐에너지

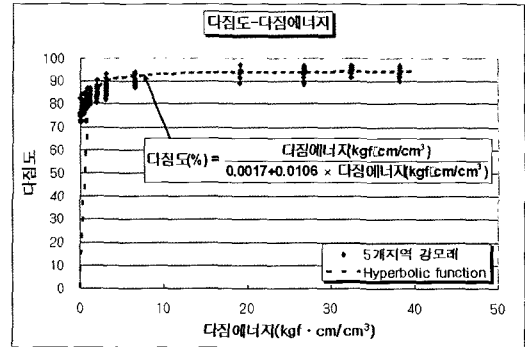


그림 19. 쌍곡선 함수

다짐에너지에 따른 다짐도의 변화경향을 쌍곡선 함수식으로 잘 표현할 수 있는 것으로 사료되며, 이때 일반화된 수식은 식(4)와 같다.

$$\text{다짐도}(\%) = \frac{\text{다짐에너지}(kgf \cdot cm/cm^3)}{0.017 + 0.0106 \times \text{다짐에너지}(kgf \cdot cm/cm^3)} \quad (4)$$

#### 4. 결론

지중배전관로 시공시 되메움재로 많이 사용되는 국내 강모래의 다짐특성을 규명하고자 강원도 원주시 섬강, 경남 함천군 황강, 전북 남원시 섬진강, 충남 금산군 금강 및 충북 충주시 남한강의 교란시료를 대상으로 일련의 기본 물성시험 및 다짐시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 5개 지역 강모래 시료의 비중은 2.63~2.67의 범위로 유사하게 나타났으며, 금강시료가 2.67로 가장 크게 나타났다. 유효입경은 금강시료가 0.25mm로 가장 크며, 0.13~0.25mm의 범위로 나타났다. 전반적인 입도분포는 5.0mm~0.2mm 범위의 좁은 구간에 분포하는 빈입도의 양상을 보이고 있다.
- 2) 강모래 시료의 다짐특성을 규명하고자 D다짐을 실시한 결과, 최대전조건위 중량은 섬강시료가 가장

크게 나타났으며, 전반적으로 1.70~1.86gf/cm<sup>3</sup>의 분포를 나타냈다. 최적함수비는 11.30~13.80%의 범위로 나타났다.

- 3) 강모래의 다짐에너지에 따른 다짐도 특성을 분석하고자 함수비 및 다짐에너지를 변화시켜 시험을 실시한 결과 함수비 변화에 따른 다짐도의 변화는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 다짐에너지에 따른 다짐도의 변화경향을 분석한 결과 지역적 영향은 미소하며, 본 연구에서 제안된 쌍곡선 함수식으로 일반화하여 근사하는 것이 가능했다.
- 4) 본 연구는 국내 5개 지역의 강모래만을 대상으로 하였으나, 향후 더 많은 지역의 시험결과를 축적하여 더욱 신뢰성 높은 국내 강모래의 특성을 규명하여야 할 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

1. 이대수(2002), "지중배전공사의 경제적 시공을 위한 신기술 개발", 한국전력공사 전력 연구원.
2. 박병기(1998), "지반역학", 새론출판사.
3. 김용필(2002), "지반공학 시험법 및 응용", 세진사.
4. 조성수(1999), "지중배전 설계편람", 한국전력공사 전력연구원.
5. Sekiune Etuso et al. (2000), "Compaction Control by Using a Falling Weight in Railway Embankment Work", *Soil and Foundation*,





- .....
- Vol.48 No.4 Ser. No.507, P.13~16.
6. Husiyama Tetsuo et al. (2000), "On Compaction Quality Control of Coarse-grained Soil by the Acceleration of a Vibratory Roller", *Soil and Foundation, Vol.48 No.4 Ser. No.507*, P.17~20.
7. Kitamoto Yukiyesi et al. (2000), "A Quality Control of Thick Thicker Spreading Depth Layer Compaction by the Impact Characteristics", *Soil and Foundation, Vol.48 No.4 Ser. No.507*, P.25~28.
8. Ueno Nobumasa et al. (2000), "Development and Applicability of a Construction Control Technique for Embankment Using Apprent Resistivity", *Soil and Foundation, Vol.48 No.4 Ser. No.507*, P.29~32.
- 〈접수 : 2005. 3. 25〉