

RI계기를 이용한 성토시공 관리기법연구(Ⅱ)

- 조립토함유율에 따른 보정 -

A Study on Embankment Compaction Control System Using RI Gauge(Ⅱ)
- Focuses on the Modification due to Gravel Content -

나 경 준*1
Na, Kyung - Joon
정 두 영*2
Jung, Doo - Young

Abstract

A new RI calibration curve acquired from the laboratory tests on typical embankment materials is found to be adequate for testing subgrade materials in Korea but may not be suitable for testing materials containing gravels. Therefore this study aims for the modification of RI values that enables the usage of RI to all kinds of roadbed materials. Also other factors available for the criteria of compaction control such as air-void ratio and degree of saturation were reviewed for their applicability.

요 지

본 연구에서는 기준공시체를 이용한 측정시험을 통해 도출된 RI교정계수가 모든 노상토재료에는 적합치 않다는 판단아래 모든 종류의 성토재료에 사용이 가능하고 신뢰성있는 RI측정이 가능하도록 조립토함유율을 변화시켜 가면서 기준공시체 제작과 이에 대한 측정시험을 통해 RI 측정값의 보정방법을 제안함으로써 모든 종류의 성토재료에 RI측정이 가능하도록 하였다. 또한 일반적인 다짐관리지표로 사용되는 건조밀도 외에 다짐도와 공기함유율 및 포화도와의 상관성을 각각 분석하여 이것들이 다짐관리지표로 사용될 수 있는지에 대한 적용성을 검토하였다.

1. 서 론

현재 국내에서 사용하고 있는 성토체의 다

짐관리는 건설부 제정 도로공사표준시방서에⁴⁾ 제시된 것과 같이 다짐도에 의한 관리를 일반적으로 사용하고 있으며 이밖에 특수한 경우 즉 다짐시의 함수비가 높아 함수비 저하가 곤

*1 정회원 전북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*2 정회원 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수

란하거나 최대건조밀도를 결정하기 곤란한 경우(고함수 점토 혹은 각종 흙이 혼합되어 그 비율이 번번히 변화하는 등)에는 포화도나 공기함유율에 의한 별도의 관리를 제안하고 있다. 다짐도에 의해 다짐관리를 하는 경우 가장 일반적으로 사용되는 시험방법은 실내 실험으로 시행하는 흙의 다짐시험(KSF 2312)과 함수량시험(KSF 2306), 및 현장에서 시행하는 모래치환법에 의한 흙의 단위중량시험방법(KSF 2311)이다.^{1, 3, 4)}

특히 모래치환법에 의한 흙의 단위중량시험 방법(이하 모래치환법이라 부름)은 시험특성상 인위적인 오차발생 가능성과 낮은 효율성때문에 최근 외국에서는 이의 대체 방안으로 RI계기를 다짐관리에 널리 사용하고 있다.^{1, 2, 3, 6, 7)}

국내의 경우, 토목 분야에서의 RI계기 적용 관련 기초연구가 전무한 실정에서 이의 필요성을 인식하고 우선적으로 RI계기의 검증과 현장 적용성을 검토한 후 국내 토질에 적합한 교정식을 도출하므로써 국내에서도 RI계기를 이용한 다짐관리가 가능하도록 하는 계기를 마련하였다.^{1, 2, 6)}

RI교정식은 국내에서 노상토재료로 사용되는 대표적인 자연재료와 일부 인공으로 조합한 혼합시료를 사용하여 제작된 기준공시체의 기준값에 RI측정값들을 비교하여 회귀 분석시킴으로써 도출한 것이다. 그러나 교정계수 도출을 일차적인 RI의 보정절차로 보았을 때 재료의 조립도 함유율이 측정값에 미치는 영향을 보정해야 할 필요성이 대두되었다.¹⁾ 실내다짐 시험에서 최대건조밀도를 구하는 경우 얻어진 최대건조밀도값의 보정방법으로 AASHTO T-224-86에 제안된 바와 같이 4.76mm체에 잔류된 조립도의 백분율에 대응하는 nomograph를 이용하여 보정하는데 이는 다짐시험시 제외된 조립도의 영향을 보정한다는 의미도 있으나 다른 한편으로는 조립도의 함유율이 밀도값에 영향을 준다는 것을 의미하고 있다. 일본 건설성 토목연구소는 국내에서 교정식도출에 사용된 것과 같은 종류의 RI계기를 사용하여 조립

도의 함량이 RI측정값에 미치는 영향을 검토한 바 있다.⁷⁾ 이 연구결과에 따르면 입경 2mm~4.76mm까지의 토립자는 RI측정값의 신뢰성에 영향을 미치지 않으나 입경 4.76mm이상이 되면 측정값에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있으며 이런 이유로 RI계기의 조립도에 대한 적용범위의 제한을 제안하고 있다.

따라서 본 연구에서는 실험을 통해 조립도 함유율이 건조밀도 측정값에 미치는 영향을 비교분석하여 이의 보정법을 제시함으로써 RI계기를 조립도를 함유한 성토재료에 활용할 수 있도록 하였다. 이와는 별도로 현행 다짐관리의 관리지표로 이용되고 있는 건조밀도 외에 특수한 경우에 한해 다짐관리지표로 이용되는 공기함유율이나 포화도가 다짐관리지표로 이용할 수 있는지에 대하여 수행된 시험범위 내에서 적용성을 검토하였다.

2. RI계기에 대한 연구

현재까지 국내에서 진행된 RI연구는 RI계기의 국내도입 및 이의 활용에 대한 타당성을 검토하는 차원에서의 검증연구, 현장적용성연구 및 국내토질에 적합한 교정식연구 등이 있는데, 본 연구는 참고문헌6을 기초로 연계되는 후속연구이므로 2장에는 본 연구의 이해에 필요한 지금까지의 RI연구내용을 요약한다.

2.1 RI계기의 교정식

교정식도출에 사용된 RI계기는 국내 방사선 규제법에 저촉을 받지 않는 100 μ Ci 이하의 밀봉선원을 사용하는 일본 Fieldtech사에서 생산된 FT-102 RI 계기로서 이 RI계기에 내장된 교정식은 일본의 대표적인 토질에 대해 실시한 교정실험을 토대로 하여 작성되었다.^{9, 11, 12, 13)} 따라서 이 RI계기를 국내에서 사용하기 위하여 국내토질에 대한 적합성 검토를 실시하였고, 새로운 교정식의 필요성이 대두되어 국내의 대표적인 노상토시료를 대상으로 국내토질에 적합한 교정식(이하 신교정식이라 부름)을

도출하였다.^{1, 2)} 신고정식도출에 사용한 구체적인 시험방법과 시험장비 등의 자료는 참고문헌에^{1, 2)} 나와 있으므로 여기서는 기준공시체의 제작에 사용된 실험시료의 특성과 도출된 교정

식만을 소개한다. 기준공시체 제작에 사용된 11종류의 실험시료특성은 표1과 같으며 여기서 얻어진 밀도교정곡선은 그림1, 수분밀도교정곡선은 그림2와 같다.

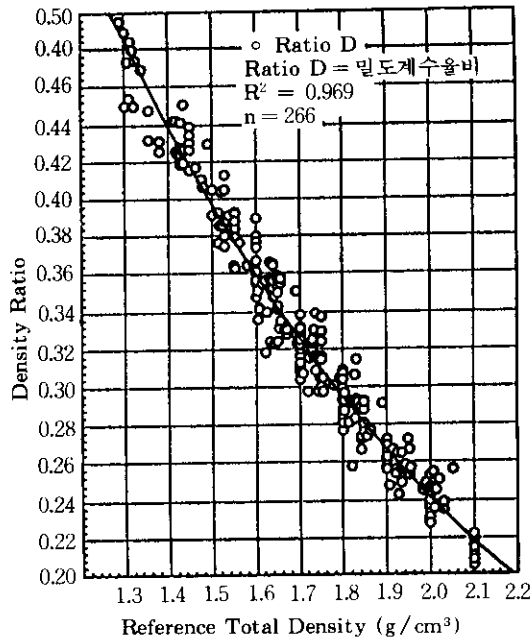


그림 1. 밀도교정식

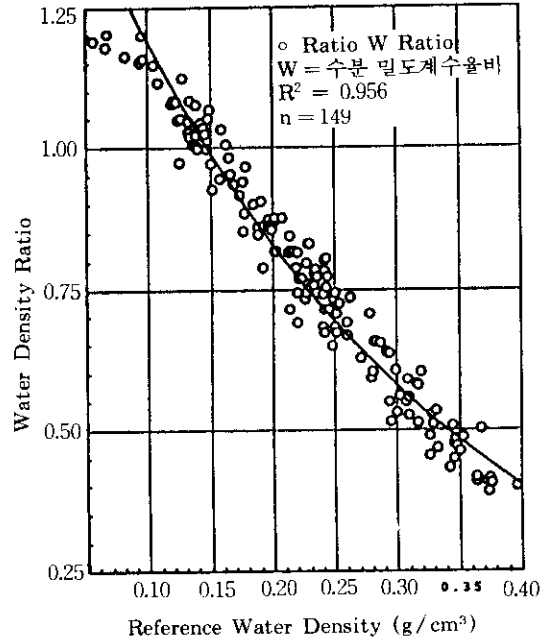


그림 2. 수분밀도교정식

표 1. 기준공시체 제작 시료특성

본 논문 에서의 표기 (약 호)	채 취 장 소 (공 사 명)	통일 분류	토립자 비 중 G _s	최대전조 밀도 γ _{damx} (g/cm³)	최 저 함수비 %	입 도 분 포							강열 감량 값 (lg)	
						4.76mm 이상	4.76~ 2.0mm	2.0~ 0.42mm	0.42~ 0.074mm	0.074mm 이하	액성한계 LL(%)	소성한계 PL(%)		소성지수 PI(%)
SN	성남 (수도권 고속도로)	SW	2.65	1.845	15.5	9.21	17.82	50.88	18.23	3.86	29.81	20.59	6.22	6
DB	태능 (동부고속도로)	SC	2.174	1.838	13.7	1.053	17.194	7.062	39.689	35.002	31.40	22.01	9.39	5
IC	인천 (국도 확장)	SC	2.740	1.850	13.6	0	21.75	27.38	37.500	13.37	30.51	26.97	3.54	5
DJ	대전~옥천 (국도 확장)	SC	2.699	1.810	13.2	0.46	12.72	23.93	31.910	30.98	36.50	24.44	12.06	7
DD	대덕 I.C (남해고속도로)	SW SC	2.809	1.941	11.0	5.89	35.58	21.20	28.880	8.45	20.50	10.34	10.16	3

CJ	청주~척산 (국도 확장)	SC	2.720	1.846	13.82	3.45	9.97	6.90	67.400	12.28	23.12	21.21	1.91	3
MJ 1	만종 1 (중앙고속도로)	SM	2.690	1.815	12.2	0.34	37.86	23.61	31.250	6.94	NP	24.24	NP	3
MJ 2	만종 2 (중앙고속도로)	SW SC	2.674	1.785	15.2	2.56	29.46	35.78	24.56	7.64	29.21	20.00	8.21	6
JS	장성~정읍 (국도 확장)	SW SC	2.770	1.863	14.1	10.09	34.88	19.55	29.21	6.27	24.95	22.86	2.09	5
KW	광양~순천 (국도 확장)	SC	2.658	1.701	19.1	13.82	38.17	13.25	19.61	15.15	36.44	23.20	13.24	7
CL	댐 코아재료	CL	2.700	1.780	15.2	0	2.10	9.84	34.65	53.41	24.70	12.40	12.30	3

2.2 RI측정과 모래치환측정의 비교

2.2.1 정량적 비교

현장의 기술자들 대다수가 한번쯤은 경험해 보았겠지만 현장밀도측정에 이용되는 모래치환법은 함수량측정에 소요되는 시료의 분량이

적고 시험에 많은 시간이 소요되며 결과를 얻기까지는 더 많은 시간이 걸린다는 단점이 있다. 이러한 관점에서 RI시험법을 모래치환법과 정량적으로 비교하면 모래치환법에 비하여 다음 표2와 같이 측정효율과 대표성측면에서 장점이 있다.^{1, 2, 3)}

표 2. RI측정과 모래치환측정의 정량적 비교

항목	측정법	RI 측정	모래치환법	비 고
1. 현장측정효율		1개소 측정시 2분 소요	2개소 측정시 17.5분 소요	-RI측정은 소요시간이 짧음 -RI측정은 현장에서 다짐도, 공기함유율, 포화도 판독이 가능
2. 측정용적에 따른 대표성 (1회 측정)	밀 도	12,000cm ³	3,000cm ³	-RI측정이 단일측정시 모래치환법보다 측정용적이 4배 큼.
	수분량	20,000cm ³	500cm ³	-RI측정이 단일측정시 모래치환법보다 측정용적이 40배 큼.

물론 RI측정도 역시 수분량 측정에 관계되는 지반부의 체적이 무한할 수는 없지만 노진조에 의한 함수비측정시험에 1회 사용되는 시료량 보다 40배 큰 부분에 대한 함수비와 모래치환법보다 4배정도 큰 시료량에 대한 밀도를

측정하므로 현장전체로 본 측정의 신뢰성이 높다고 하겠다.

2.2.2 기준값에 대한 측정값 비교

신교정식에 의한 RI측정결과와 모래치환법에 의한 측정결과 각각이 기준공시체의 체적법

(계량)에 의해 결정된 기준값에 대하여 어떤 차이를 나타내는지를 비교하기 위하여 시험방법별 건조밀도의 측정값을 다음 그림3과 그림4에 각각 plot하였다. 제작된 기준공시체의 크기는 직경 60cm, 높이 40cm였다.

그림3과 그림4에서 보면 기준값과 비교해 보

았을 때 RI측정값이 모래치환법에 의한 측정값보다 기준값에 더욱 근접하게 측정되고 있음을 알 수 있으며 분산성 또한 RI측정쪽이 작게 나타나 모래치환법보다 측정오차가 작은 것으로 나타났다. 이 실험들이 조건이 좋은 실내에서 이루어진 점을 감안해 본다면 현장에서 모

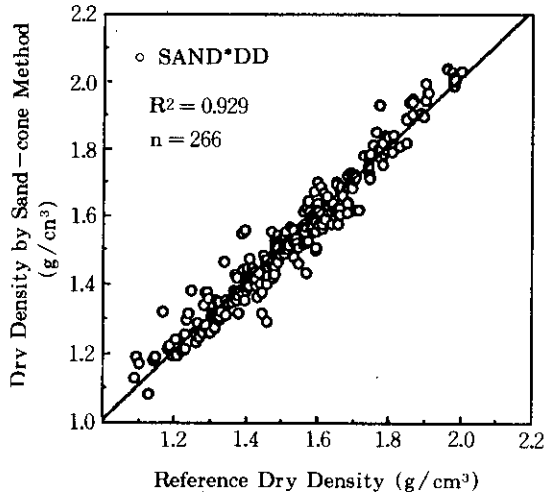


그림 3. 기준건조밀도값에 대한 모래치환 측정값

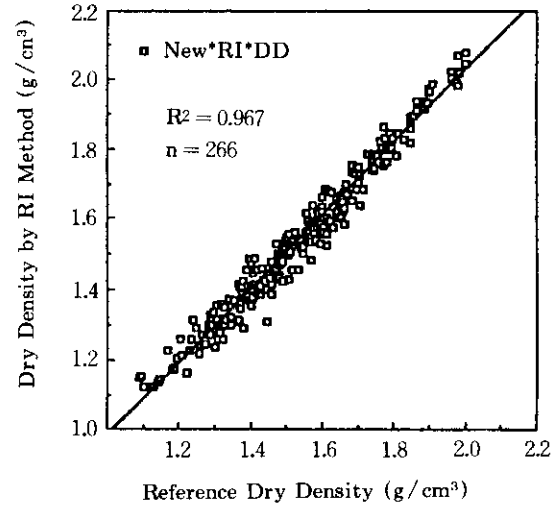


그림 4. 기준건조밀도값에 대한 RI측정값

래치환법을 적용하는 데는 보다 많은 오차발생 가능성이 있을 수 있다고 판단된다.

3. 조립토 함유율이 RI측정에 미치는 영향

2장의 교정식 도출에 사용된 11개 재료의 입도분포(표1 참조)에서 조립토함유율(4.76mm체에 잔류된 조립토의 백분율)은 0% 내지 13.82%이므로 이와 비슷한 입도분포를 갖는 재료에 대한 측정 즉 측정매질이 일반적인 흙이거나 조립토가 적게 함유된 경우에 대해서는 신교정식을 적용하여 밀도를 측정할 수 있다. 그러나 이보다 많은 조립토가 함유된 재료에 대한 RI측정에는 조립토함유율이 RI측정값에 어떤 영향을 미치는지 검토해 볼 필요가 있다. 따라서 11개 재료 가운데 4.76mm체 잔유량이

13.82%로 가장 높은 광양-순천간(KW)의 시료를 선택하여 일정한 범위의 입도분포를 가진 채석재료를 단계별로 혼합 증가시켜 각 배합단계별로 기준공시체를 제작한 후 총체적법에 의해 결정되는 기준값과 RI측정값을 비교 분석하므로써 조립토함유율이 RI측정값에 미치는 영향을 파악하였다.

3.1 실험재료 특성

본실험에 사용된 노상토 재료는 표1의 KW 시료이며 그 특성은 표에 나타나 있다. 사용된 채석시료는 비중이 2.63이고 입경범위는 19.1mm체를 100% 통과하고 4.76mm체에 100% 잔류하는 것을 선별하여 사용하였다.

3.2 기준공시체 제작

기준공시체는 190kg의 노상토시료에 단계별로 30kg씩의 쇄석시료를 증가시켜 가는 방법으로 중량배합비를 조절하여 총 17단계로 나누어 혼합한 후 각 단계별로 동일한 방법의 다짐

을 행하여 제작하였으며 각 공시체의 4개소에서 RI측정과 모래치환법에 의한 측정을 각각 실시하였다.

각 단계별 시료 배합비율과 제작수 및 RI측정횟수는 다음 표3과 같다.

표 3. 시료배합 비율과 RI측정횟수

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
쇄석배합단계	노상토시료 (kg)	노상토시료 내 4.76mm체 잔유량(kg)	쇄석무게 (kg)	조립토무게 (kg) ③+④	조립토함유율 $\frac{⑤}{②+⑤} \times 100$	기준공시체 제작 갯수	측정횟수
Step 1	190	26.3	63.6	89.9	35.45	7	28
Step 2	190	26.3	93.6	119.9	42.28	7	28
Step 3	190	26.3	123.6	149.9	47.80	6	24
Step 4	190	26.3	153.6	179.9	52.36	6	24
Step 5	190	26.3	183.6	209.9	56.18	6	24
Step 6	190	26.3	213.6	239.9	59.44	5	20
Step 7	190	26.3	243.6	269.9	62.25	5	20
Step 8	190	26.3	273.6	299.9	64.69	5	20
Step 9	190	26.3	303.6	329.9	66.84	6	24
Step 10	190	26.3	333.6	359.9	68.74	6	24
Step 11	190	26.3	363.6	389.9	70.43	6	24
Step 12	190	26.3	393.6	419.9	71.95	6	24
Step 13	190	26.3	423.6	449.9	73.32	6	24
Step 14	190	26.3	453.6	479.9	74.56	5	20
Step 15	190	26.3	483.6	509.9	75.70	5	20
Step 16	190	26.3	513.6	539.9	76.73	5	20
Step 17	190	26.3	543.6	569.9	77.69	3	12

3.3 실험수행

실험은 쇄석배합 단계별로 최소 3개내지 최대 7개 까지의 기준공시체를 제작하고 기준공시체의 4개 부위에서 RI측정과 모래치환법에 의한 측정을 각각 실시하였다. 본 연구의 목표 중 하나가 기준공시체의 기준값과 RI측정값과의 비교분석이므로 기준공시체 제작시 고른 수분분포를 위한 시료의 혼합과 다짐작업의 균일

성유지에 각별히 유의하였으며 체적법에 의한 기준밀도의 측정시 공시체표면의 평탄도 유지에 주의하므로써 기준공시체의 체적계산에 사용될 높이 측정값의 편차발생을 최대한 억제시켰다.

공시체제작 및 기준공시체에 대한 실험수행 흐름도는 다음 그림5와 같다.

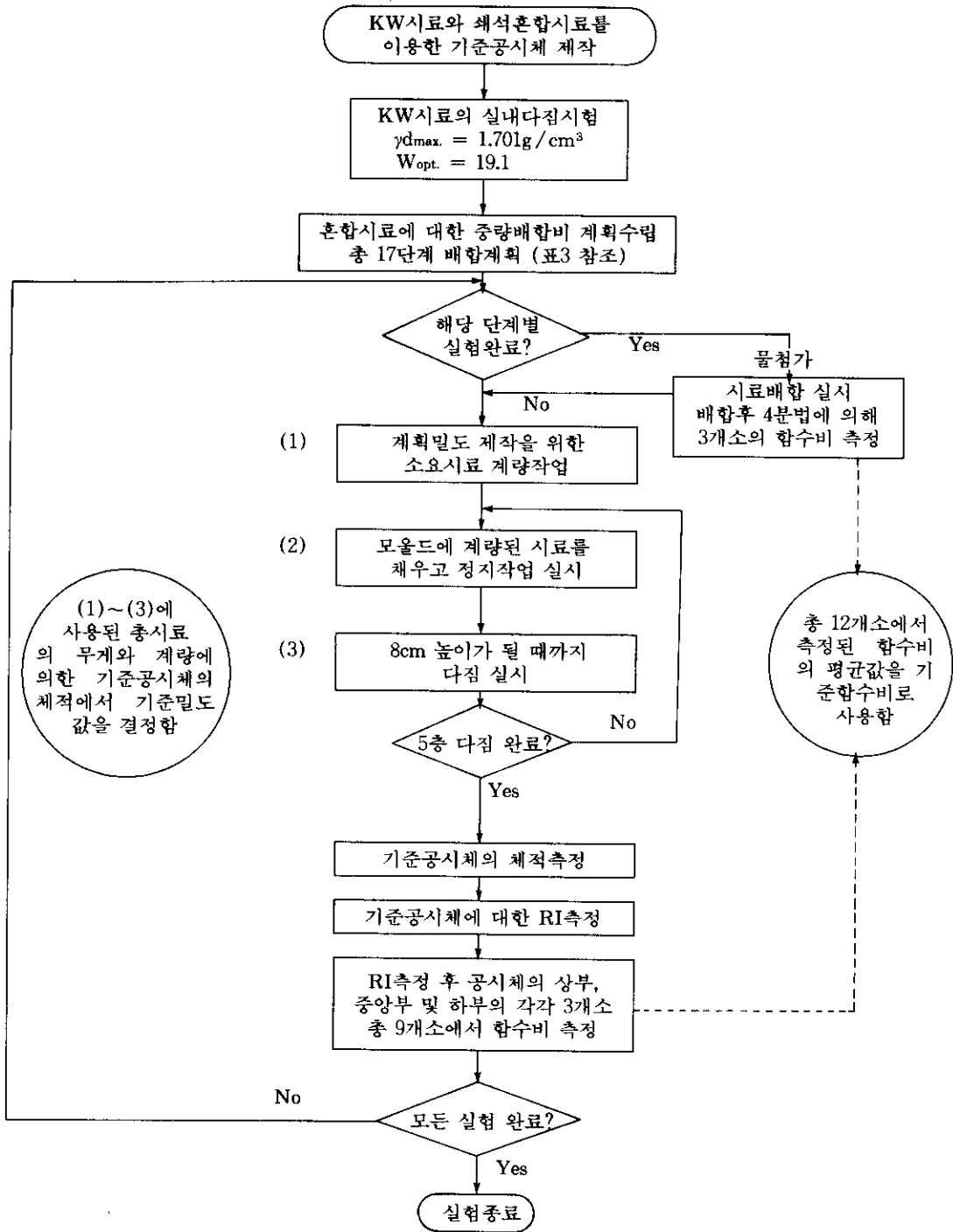


그림 5. 공시체 제작 및 실험수행 흐름도

3.4 결과분석

각 배합 단계별로 총 95개의 기준공시체를 제작하였으며 각 공시체별로 4개소에서 측정을 하였기 때문에 전체 380개의 측정데이터를 얻었으나 조립토함유율의 증가에 따른 밀도값

들의 변화추이의 분석에는 각 기준공시체별로 얻어진 4개 측정값들의 평균을 이용하였다. 먼저 전체적인 경향을 파악하기 위하여 첨가된 쇄석함유율별로 RI측정에서 얻어진 총밀도값과 건조밀도값의 기준값에 대한 차이를 그림6에 나타냈다.

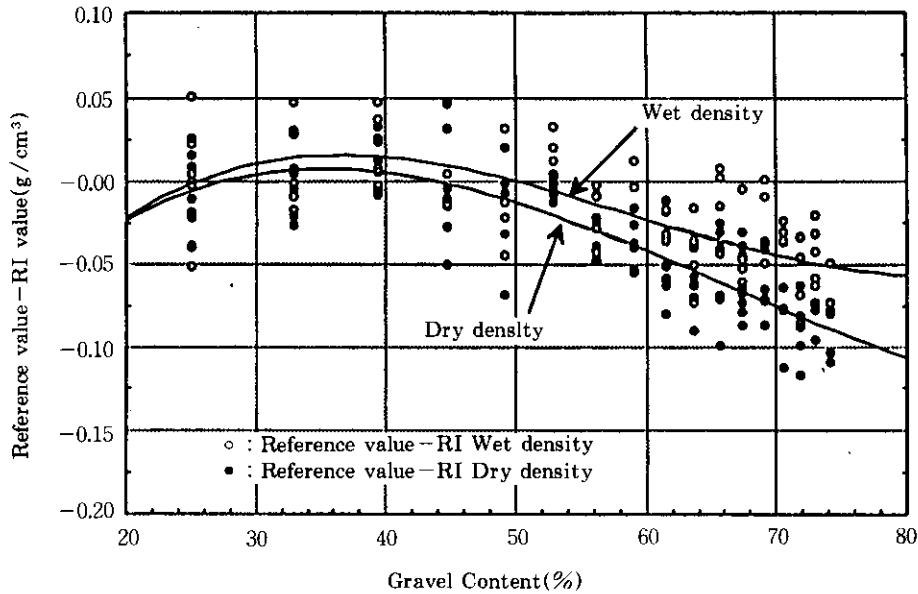


그림 6. 첨가된 쇄석 함유율 증가에 따른 밀도 변화

그림6에 의하면 총밀도와 건조밀도 모두 쇄석함유율이 40%를 넘게되면 RI측정이 기준밀도값보다 크게 측정되므로 종축에 보인 차이가 (-)값으로 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 총밀도값(습윤밀도값)보다 건조밀도값의 변화폭이 조립토함유율이 커질수록 커지는 경향을 나타내고 있어 RI측정값이 조립토함유율에 따라 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 실제 조립토함유율에 따른 측정값의 보정절차를 마련하기 위하여 노상토재료에 함유된 4.76mm이상의 조립토까지 포함한 조립토함유율별로 기준값과 RI측정에 의한 건조밀도값의 차이를 그림7에 나타냈다.

그림7에 의하면 실제 조립토함유율이 50%

선까지는 건조밀도기준값과 RI측정값이 거의 일치한다고 보여지나 50%를 넘게되면 RI측정값이 점점 과대평가 되어지는 것을 알 수 있다. 따라서 조립토 함유율이 50%를 넘는 RI측정에 있어서는 과대평가되는 값 만큼을 감하여 측정값을 얻는다면 보다 정확한 RI측정이 가능할 것으로 판단된다. plot된 데이터들을 최소사승법에 의해 regression시켜 회귀식을 얻은 후 이 식을 이용하여 조립토함유율에 따른 건조밀도값의 보정식을 다음 식(1)과 같이 제안하였다.

$$Rd' = Rd - N \dots\dots\dots(1)$$

$$N = 7.84 \times 10^{-5} M^2 - 6.66 \times 10^{-3} M + 0.1387$$

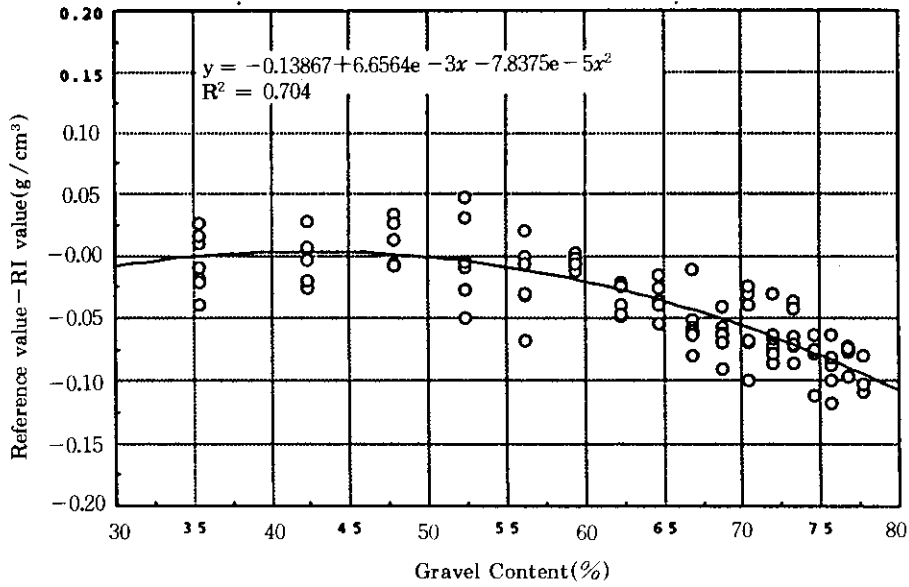


그림 7. 실제 조립토함유율에 따른 건조밀도의 측정오차

여기에서 Rd' : 보정된 건조밀도 (g/cm³)
 Rd : RI 측정된 건조밀도 (g/cm³)
 N : 보정값
 M : 조립토함유율
 (4.76mm 체 잔류백분율 : %)

4. 공기간극률과 포화도의 다짐관리지표로의 적용성

RI 측정의 또 다른 장점은 현장에서 곧바로 다짐도 뿐만 아니라 공기함유율과 포화도를 알

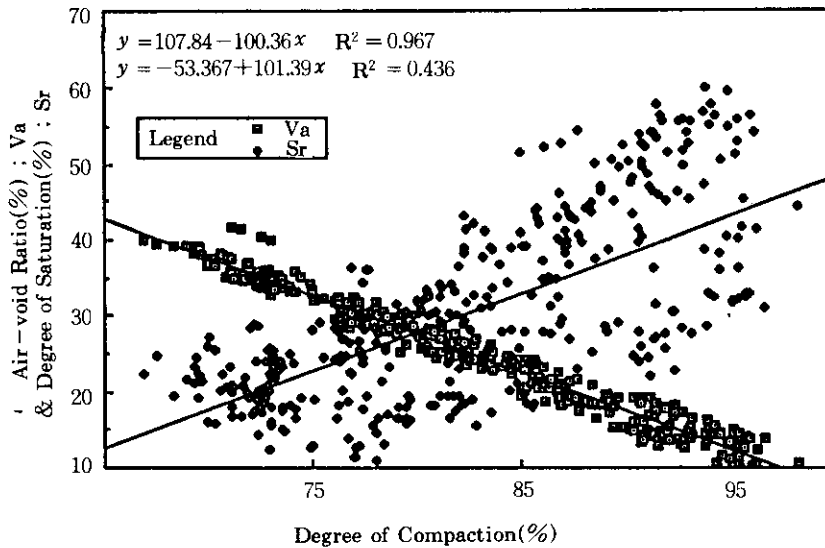


그림 8. 다짐도변화에 따른 공기함유율과 포화도의 변화

수 있어 이 값들을 다짐도 판단의 보조자료로 이용할 수 있다는 점이다. 4장에서는 3장에서 수행한 실험자료를 이용하여 다짐관리요소로 이용되는 밀도 외에 공기함유율(V_a)과 포화도(S_r)의 다짐도변화에 따른 변화추이를 분석하여 다짐관리지표로의 사용가능여부를 검토하였다.

다음 그림8은 17종류의 배합단계별로 제작된 95개의 기준공시체에서 각 공시체당 4개소씩 측정된 총 380개의 RI측정데이터를 이용하여 다짐도별로 V_a 와 S_r 값을 plot하여 나타냈다.

그림8에서 포화도 (S_r)는 다짐도가 커짐에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있으나 일차회귀 분석결과, 결정계수 $R^2 = 0.436$ 으로 분산이 커서 뚜렷한 상관성을 찾기는 어려운 반면 공기함유율(V_a)는 다짐도가 커질수록 일정한 비율로 작아지고 있으며 일차회귀분석 결과 $R^2 = 0.967$ 로 높은 상관성을 나타내고 있다. 그림9는 그림8에서 포화도 데이터를 제거한 다짐도와 공기함유율과의 관계만을 plot한 것이며, 그림10은 교정식도출시 수행한 11개종류의 시

료에 대한 172개의 측정데이터 가운데 다짐도와 공기함유율의 관계데이터만을 발췌하여 380개의 선택실험데이터와 함께 plot한 것이다.

그림9에서 공기함유율이 10%이하인 경우의 최소 다짐도는 95% 이상을 나타내고 있기 때문에 노상의 다짐관리기준치로 사용될 수 있다고 판단되며 공기함유율 15%이하인 경우의 최소다짐도는 90%로 나타나고 있어 노체의 다짐관리 기준으로 사용할 수 있을 것으로 보인다. 따라서 여기에 적절한 통계적 관리기법을 병용한다면 공기함유율에 의한 다짐관리가 가능할 것으로 판단된다.

그림10은 172개의 노상토시료 데이터를 첨가시킴으로서 상관성이 낮아짐을 나타낸다. 일본 도로공단의 연구결과^{10, 14)} 그림11과 같이 흙의 종류별로 최종전압시(최적의 함수비상태에서 적절한 다짐에너지로 단계별 전압을 실시하였을때 최대 다짐도값이 얻어진 상태를 말함) 공기함유율의 분포를 나타내고 있는데, 본 연구결과와 비교하면 다음을 알 수 있다.

- 1) 조립토함유율이 최소 35.44%에서 최대

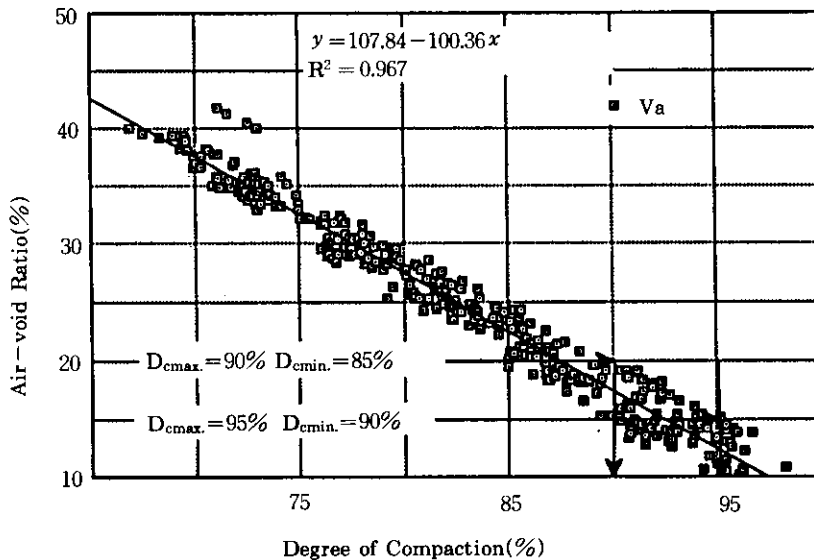


그림 9. 다짐도변화에 따른 공기함유율의 변화(380데이터)

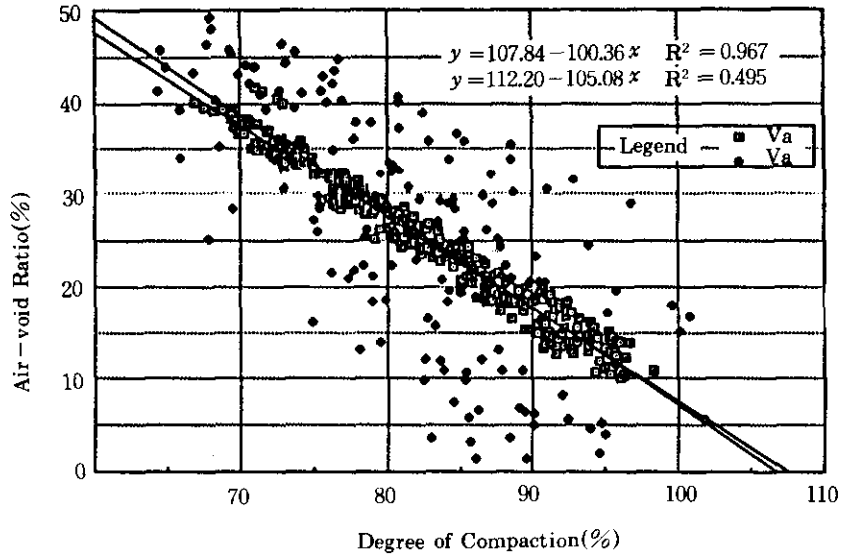


그림 10. 다짐도변화에 따른 공기함유율의 변화(380+172데이터)

77.69%까지 함유된 쇄석혼합시료를 사용하여 수행한 실험결과는 일본도로공단의 연구결과와 비슷한 경향을 나타낸다.

2) 신교정식 작성에 사용된 일반 노상토재료인 SC, SM 또는 SC-SM 등의 재료를 사용한 실험결과는 일본도로공단이 제시한 흙의 종류별 최종전압시 공기함유율의 분포에 벗어나는

경향을 나타내고 있다.

이와 같이 상반되는 경향이 얻어진 것은 본 연구의 실험과정에 문제점이 있었다고 지금단계로는 판단되지 않으며, 다만 일본도로공단은 현장다짐을 통해 그림 11과 같은 결과를 얻었고 본 연구에서는 모울드내에서의 실내다짐을 통하여 얻은 결과이기 때문에 다짐방법과 다짐에너지차이에서 발생하는 현상일지 모른다는 추정만 해 보았다. 따라서 본 연구 결과에 의하면 쇄석혼합 시료는 공기함유율에 의한 다짐관리가 가능하나 국내에서 주로 사용되는 SC, SM 및 SC-SM 등의 일반시료에 대해서는 공기함유율에 의한 관리의 적용성이 낮은 것으로 잠정 결론 지었다.

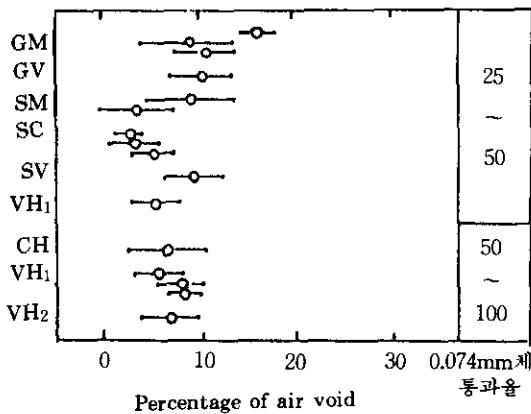


그림 11. 흙의 종류별 최종전압시 공기함유율 분포도 (일본도로공단)

6. 결 론

본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 4.76mm체 잔유백분율이 50% 미만인 경우의 재료에 대한 RI를 이용한 다짐도 측정에는 2차적인 보정없이 교정식에 의한 측정값을 사용할 수 있다.

2) 조립토함유율이 높은 성토재료에 대한 RI측정시 4.76mm체 잔유백분율이 50%이상인 경우에는 RI측정에 의한 밀도측정값이 실제보다 높게 측정되므로 측정값의 보정이 필요하며 건조밀도에 대한 보정식은 다음과 같다.

$$Rd' = Rd - N$$

$$N = 7.84 \times 10^{-5} M^2 - 6.66 \times 10^{-3} M + 0.1387$$

3) 포화도는 다짐도와의 상관성 분석결과를 토대로 볼때 다짐관리의 직접적인지표나 보조 지표로서의 사용이 불가능 하다.

4) 쇄석혼합시료를 사용한 본 연구의 실험결과, 공기함유율은 다짐도와 밀접한 관계를 나타내고 있으므로 다짐관리의 지표로의 사용이 가능한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 과학기술처(1991), 아스팔트 및 콘크리트 포장 구조체를 지지하는 노상 및 노체의 성토시공 관리를 위한 시스템 개발, 한국건설기술연구원, 167pp.
2. 구본효·나경준·이진후·홍성완(1994), "RI계기를 이용한 성토시공관리기법연구(I)-RI계기의 검증실험 및 교정식작성-", 대한토목학회 논문집 제 14 권 제 1 호, pp203~216.
3. 나경준(1991), "RI계기를 이용한 성토다짐관리", 건설기술정보, 92호, pp. 15~21.
4. 한국도로공사(1989), 건설공사 품질시험 편람, 919pp.
5. 한국도로협회(1990), 건설부제정 도로공사 표준시방서, pp.54~67
6. 韓國科學財團(1990). 도로건설 및 포장유지관리 시스템 개발, -도로구조체를 지지하는 노상 및 노체의 성토시공 관리를 위한 시스템개발에 관한 연구(I)-, 한국건설기술연구원, 160pp.
7. 홍성완(1989), "토목공학분야에서의 방사성 동위원소이용", 건설기술정보, 68호 pp5~9.
8. 田中 實, 中場 廣喜, 高田知典(1992), "土の締固め管理のための非破壊試験法(その11) -磧率かRI法に及ぼす影響について-", 第27回土質工學研究發表會, K-5, pp. 2119~2120.
9. (株) ファイルト" テック(1988), 水分・密度計 FT-102公園型 取り扱いマニュアル, MYT 1546, 75pp.
10. 石井恒久(1988), "RIを利用した盛土の品質管理" 土木施工 29巻 1號, pp.57~60.
11. 日本土質工學會(1976), 土質調査法, 第14章, 特殊な測定A, ラジオアイソトープ利用による土質調査, pp.591~607
12. 日本道路公園試験所(1984), RI計器 で土の密度・含水量をはかるしくみ(測定原理と 較正曲線の作成, 195pp.
13. (財團法人) 高速道路技術 センター(1984), ラジオアイソトープによる盛土管理手法 の 研究(日本道路公園委託), 142pp.
14. Oka, Y. "Compaction Control by Nuclear Method in Highway Embankment", UN DP/IAEA/RCA, Lecture Note, Japan Highway Pub. Corp., 1988.

(접수일자 1994. 3. 16)