

인천국제공항 2단계 제3활주로 부지에서 파쇄암을 이용한 노상 시험다짐 시공 A Test Compacted Construction for Subgrade in the 3rd Runway of the 2th Incheon International Airport Construction Area using Crushed Stone

김종국¹⁾, Jongkuk Kim, 손형호²⁾, Hyungho Son, 김영웅³⁾, Youngung Kim, 김용철⁴⁾, Yongcheol Kim
김동철⁵⁾, Dongchul Kim, 김연정⁶⁾, Yeonjung Kim

- 1) 한국건설품질시험원 지반환경연구실장, Chief of Ground-Environmental Research Dev., Institutoin of Korea Construction Quality Test&Analysis
- 2) 한국건설품질시험원 기술관리실 이사, Director Manager, Dept. of Technical Management, Institutoin of Korea Construction Quality Test&Analysis
- 3) 인천국제공항공사 부지조성처 부장, General Manager, Dept. of Site Preparation, IAC.
- 4) 인천국제공항공사 부지조성처 과장, Manager, Dept. of Site Preparation, IAC.
- 5) 인천국제공항공사 건설시험소 과장, Manager, Res. & Analysis Office, IAC.
- 6) 유신코퍼레이션 지반공학부 공학박사/전문이사, Ph. D/Director, Dept. of Geotechnical Engineering, Yooshin Corp.

SYNOPSIS : In this construction case study, Crushed stone under 100mm diameter was carried out a test compacted construction for subgrade in the 3rd. runway of the 2th Incheon International Airport Construction area. Conforming to specification needs a minimum rolling compacted number 10 for upper subgrade 100% compaction degree indicated in Federal Aviation Administration and $K_{30} \geq 20\text{kgf/cm}^2$ in plate bearing test. K_{30} to be acquired 100% compaction degree of upper subgrade is confirmed to about 31kgf/cm^2 from correlation K_{30} vs relative compaction degree.

Key words : crushed stone under 100mm diameter, airfield subgrade compaction degree, vibrating roller compacted number, K_{30} and H_{75} using $\varnothing 75\text{cm} \times 30\text{cm}$ plate

1. 서 론

인천국제공항이 2001년 3월 29일 개항한 이래 명실상부 동북아 허브공항의 중추기능을 담당하기 위한 세계적인 공항으로 거듭나기 위해서는 현 시설에 안주하지 않고 지속적인 시설확충이 절실하며, 이러한 배경에서 각국의 공항간 경쟁력에서의 우위확보 및 선점을 위해 2단계 공항시설 확장이 국가차원에서 진행중에 있음은 다행한 일이 아닐 수 없다.

금번 인천국제공항 2단계 제3활주로 부지조성공사는 인근 오성산 토취원의 발파암을 100mm 이하로 파쇄하여 노체 및 노상을 성토하는 것으로 기본계획이 수립되었다. 그러나, 오성산 토취원의 개발지연으로 본 공사에 적용할 제반 다짐관리 기준을 수립하기 위한 시험성토가 시급한 실정에 있는 바, 금번 시험성토는 공항건설이라는 특수성과 대규모 성토인 점을 감안하여 시방규격을 만족하는 성토재료를 확보하고 아울러 시방조건에 대한 기술적인 검토를 통하여 고품질의 공항부지를 건설하는데 목적이 있다.

본 시험다짐 시공은 오성산 토취원에서 발파된 암괴를 현장 크렛샤장에서 100mm 이하로 파쇄하여 생산한 성토재료를 이용하는 일종의 암성토에 해당되며, 이러한 암성토는 일반적인 토사의 성토조건과는

다짐장비, 다짐횟수 및 다짐 후 지지력이나 다짐도 등이 상이한 것으로 알려져 있어 국내 제정 각종 시방서에는 반드시 시험다짐 시공을 통하여 제반 기준을 정립하도록 되어 있다. 본 시공사례에서는 노체 및 노상의 암성토를 위한 시험다짐 시공중 우선 노상에서 시행한 시험다짐 시공의 개요, 평가항목 및 성토 다짐관리 방안 등을 소개하여 향후 국내에서 대규모로 암성토를 시행하는 공사현장에서 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

2. 인천국제공항 2단계 건설 사업개요

2.1 사업개요

인천국제공항 1단계는 2001년 3월 29일 개항 당시의 주요시설로는 활주로 2본, 여객계류장 1,267천㎡(38만평), 화물계류장 129천㎡(4만평), 여객주기장 60개소 등의 시설을 갖추고 있으나, 개항 후 인천공항은 이에 안주하지 않고 증가하는 항공수요 및 급변하는 항공 산업에 대비 적기시설을 확보하여 주변 경쟁 공항과의 우위 선점을 통한 중추(HUB)공항으로 발전하기 위해 공항시설부지 8,250천㎡(250만평)에 총 사업비 4조 7천억원을 투입해 2002 ~ 2008년까지 약 7년에 걸쳐 2단계 건설이 추진되고 있다.

2단계 건설사업의 주요시설로는 활주로(길이 4,000m급×60m) 1개, 탑승동 158천㎡(4.8만평) 1개, 여객계류장 1,089천㎡(33만평), 화물터미널 100천㎡(3만평), 국제업무지역331천㎡(10만평), 여객·다목적 부두 등이 추가 건설될 계획이다. 2008년 2단계 전체 공사가 완료되면 인천공항의 연간 운항회수가 24만회에서 41만회로, 여객처리능력이 3천만명에서 4천4백만명으로, 화물처리능력이 270만톤에서 450만톤으로, 여객계류장의 항공기 주기 대수가 60대에서 108대로 각각 증가하게 된다. 다음의 표 1은 인천국제공항 2단계 주요사업의 추진연혁과 급변 시험다짐 시공을하게 되는 제3활주로 부지조성의 공사규모이다.

표 1. 인천국제공항 2단계 주요사업 추진연혁 및 제3활주로 부지 공사규모

년 도	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	비 고
주요추진사업연혁	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 부지조성설계, 공항시설설계, 건축시설설계, 여객계류장 부지조성(1공구) <ul style="list-style-type: none"> ▶ 제3활주로 부지조성공사(2~5공구) <ul style="list-style-type: none"> ▶ 여객계류장(탑승동A,B)지역 시설 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 수하물처리시설, 탑승동 건설공사 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 승강설비 제작·설치, 항행안전시설 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 운영정보시스템구축사업 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 시운전 							

구 분	공구	시행(주관사)		공 사 규 모			비 고
		시공사	감리사	부지면적	성토량	P.D.B.	
남측활주로	2공구	대림	동신	1,373천㎡	5,880천㎡	1,620천m	
	3공구	한신		1,648천㎡	7,254천㎡	1,480천m	
북측활주로	4공구	한진	유신	1,540천㎡	7,798천㎡	2,020천m	
	5공구	포스코		882천㎡	5,719천㎡	1,494천m	
계				5,443천㎡	26,651천㎡	6,614천m	

2.2 토취원(오성산) 지층특성

인천국제공항 2단계 부지조성공사의 토취원인 오성산 지역은 인천광역시 중구 덕교동에서 북동방향으로 약 1km 정도 내외의 거리에 위치하고, 인천국제공항 2단계 부지조성 구역과 인접한 석산지역이며, 원근의 산계는 이전에는 독립된 지형을 형성하고 있었으나 인천국제공항이 위치하면서 인근의 작은 섬들과 대단위 간척사업을 통해 현재는 하나로 연결되어 있다. 오성산 지역의 지층별 특성은 표토층은 풍화잔류토로서 황갈색을 띠는 실트질 모래성분으로 세립질 ~ 조립질의 입도분포를 갖고 소량의 암편이 존재하고 있으며, 상부 풍화토층은 전층에서 나타나며 0 ~ 4.0m 내외의 두께로 분포하고 있다. 한편 풍화암층은 1.1 ~ 5.5m 내외의 두께로 분포하고 있으며, 조밀정도는 매우 조밀한 상대밀도를 갖는다. 또한 연암층은 주로 담회색 ~ 담갈색을 띠며 전체적으로 절리 및 균열이 발달한 기반암인 화강암이 높은 풍화 내지 약간 풍화를 받은 상태로 R.Q.D.는 0 ~ 100%의 넓은 분포범위를 보이면서 1.9 ~ 34.5m 내외의 두께로 분포하고 있으며, 보통암은 기반암인 화강암이 보통 풍화 내지 약간 풍화를 받은 상태로 R.Q.D.는 0 ~ 88%의 분포 범위를 나타내면서 6.0 ~ 25.3m 내외의 두께로 분포하는 것으로 나타났다.

3. 시험다짐 시공개요

3.1 사용 성토재료

금번 시험 다짐시공에 사용한 성토재료는 다음 표 2에 나타난 바와 같이 오성산 토취원에서 발파된 암괴를 현장 크러셔에서 100mm 이하로 파쇄하여 생산한 재료를 노상(노체 겸용)로 사용하였으며, 실내 물리시험 결과 시방규격을 만족하는 것으로 나타났다.

표 2. 오성산 토취원 재료 및 100mm이하 파쇄암의 물리적 특성

토취원명	분포암	층두께 (m)	물리적 특성				비고	
			비중	흡수율(%)	안정성(%)	마모율(%)		
오성산	풍화토	0.0 ~ 4.0	2.53	0.53	2.9	24.5		
	풍화암	1.1 ~ 5.5						
	연 암	1.9 ~ 34.5	~	~	~			
	보통암	6.0 ~ 25.3	2.89	2.06	7.6	59.4		
재료명	입도분포(통과율,%)			물리적 특성				비고
	100mm	No.4	No.200	액성한계	소성한계	소성지수	수정CBR	
Ø100mm 이하 파쇄암	100	30.3	8.3	N.P.	N.P.	N.P.	53.5 %	
시방규격 (노상)	≤ 100	25 ~ 100	0 ~ 25	소성지수(P.I) ≤ 10			≥ 10	

3.2 시험다짐 시공조건

시험다짐은 본 공사시방서에 암성토에 따른 시험다짐 규모를 30x20m 크기를 기본 구획으로 하되, 시험조건이 상이한 경우에는 시험다짐시 영향을 최소화하기 위한 이격거리, 시험다짐시 평가항목 등이 서로 간섭이 일어나지 않도록 주의를 요하며, 또한 시험다짐시에는 시방규정을 만족하는 적정 다짐횟수, 이에 따른 본 공사의 다짐관리 기준 등을 재정립하도록 규정되어 있어 시험다짐 시공계획 수립시 이를 반영하여 다음과 같은 조건으로 시험다짐 규모 등을 수립하였다. 시험다짐은 시방 다짐도를 만족하는 적정 다짐횟수를

찾기 위해 시험 다짐횟수를 6회, 8회, 10회, 12회 및 20회로 구획을 나누었으며, 하부지반의 영향을 고려하기 위해 본공사 부지에서 시행하였다. 이 때 시험다짐은 포설은 도져, 다짐장비는 10톤 진동롤러 및 14톤 타이어롤러를 조합하여 사용하였으며, 다음의 그림 1에서와 같이 노체층 120cm를 1층 다짐두께 30cm 4층, 노상층 100cm를 1층 다짐두께 20cm 5층으로 각각 다짐구역별로 시험다짐하였다.

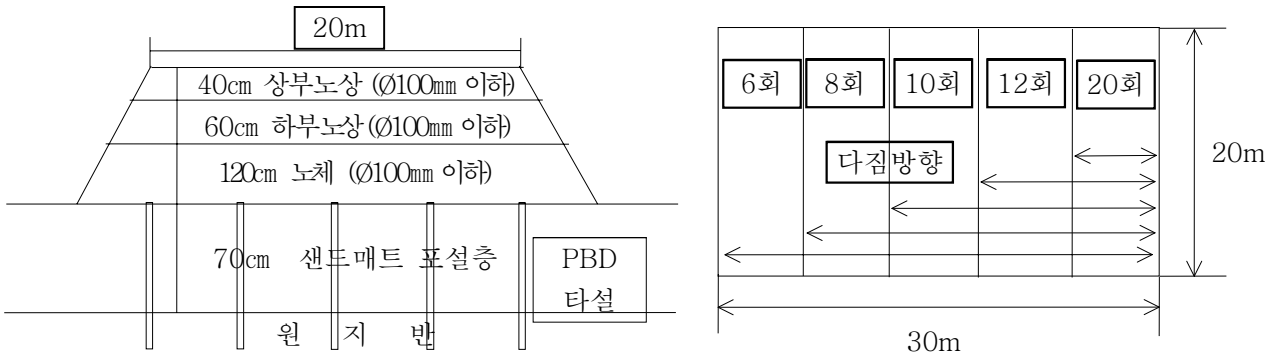


그림 1. 시험다짐 시공 표준단면 및 다짐횟수 구역별 평면도

3.3 시험다짐후 시험·평가방법

시험다짐 구역별로 다짐후 시험·평가항목으로는 당해 공사시방서에 지지력에 의한 다짐관리와 단위중량(밀도)에 의한 다짐관리(상대다짐도)를 병행하도록 명기되어 있으며, 이 경우 지지력은 KS F 2310의 평판재하시험에 의한 지지력계수(K_{30} 및 K_{75}), 단위중량(밀도)의 측정은 성토재료가 100mm 이하의 암성토인 점을 고려하여 국내 KS규격이 아닌 ASTM D 5030의 물치환밀도 시험법에 의하도록 되어 있다.

그러나, 다짐도의 경우는 동 공사시방서에 “현장에서 20회 시험다짐 후 측정한 물치환밀도값을 최대 건조밀도(현장값)로 간주(단, 압축침하량이 증가하면 다짐횟수를 계속 증가)”하도록 되어 있어 현장 시험다짐 조건에서의 최대전압에너지인 다짐횟수 20회 조건에서의 진동 및 타이어롤러 제원을 고려하여 다음의 표 3과 같은 조건으로 대형다짐기를 제작, 실내 다짐시험을 실시하여 구한 최대건조밀도(실내값)와 비교, 분석하고자 하였으며, 다음의 사진 1 및 2는 대형다짐기에 의한 실내다짐시험 및 물치환밀도 시험 전경이다.

표 3. 대형다짐기 제원 및 다짐방법

대형다짐기 제원					다짐방법			다짐E (kgf.cm/cm ²)
몰드내경 (cm)	몰드높이 (cm)	칼라높이 (cm)	몰드부피 (cm ³)	램머무게 (kg)	낙하고 (cm)	다짐층수	다짐횟수	
35.0	29.2	11.8	28,094	11.7	55	3		57.6



사진 1. 대형다짐기에 의한 실내 다짐시험 전경



① 시험굴 굴착장면



② 시험굴 굴착깊이 측정



③ 시트부설 및 주수

사진 2. 물치환밀도시험(ASTM D 5030-'04에 의함) 시험전경

4. 시험다짐 시공결과

시험다짐 부지에서 사진 3과 같이 시험다짐이 완료된 구역에 전술한 바와 같이 재하판 30cm 및 75cm를 이용하여 각각 평판재하시험에 의한 지지력계수와 단위중량(물치환밀도)을 각각 측정하였다.



사진 3. 시험다짐 시공현장(성토재료 포설 ⇒ 진동롤러 다짐 ⇒ 타이어롤러 마무리 다짐)

4.1 노상 시험다짐층에 대한 지지력계수 및 상대다짐도

Ø100mm 이하 파쇄암에 대한 노체층 시험다짐 후, 본 공사와 동일한 성토단면으로 노상층을 시험다짐하여 평판재하시험에 의한 지지력계수 및 상대다짐도를 각각 측정하여 그 결과를 다음의 그림 2 및 그림 3에 각각 나타내었다.

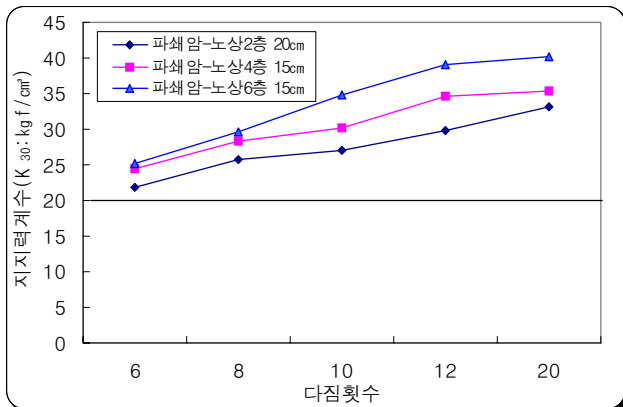


그림 2. 노상층 시험다짐 결과(평판재하시험)

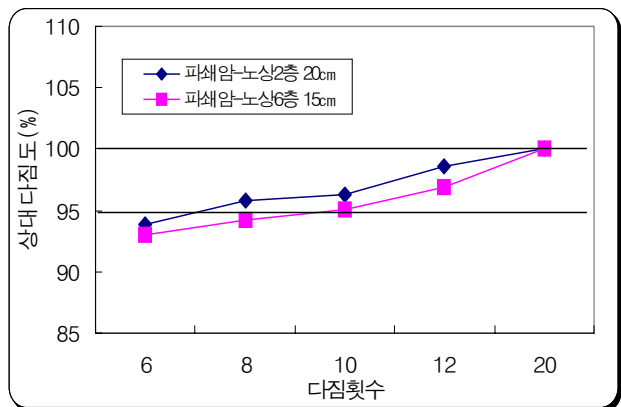


그림 3. 노상층 시험다짐 결과(상대다짐도)

측정결과, 그림 2에서와 같이 평판재하(지지력계수 $K_{30} \geq 20\text{kgf/cm}^2$)에 의한 지지력계수는 급변 시험 다짐횟수 최소횟수인 6회 이상이면 시방규정을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 일반적으로 암성토인 경우, 토사와 달리 전압횟수가 증가할수록 압축량이 크지 않고 성토 재료간의 접촉점이 증가하면서 재배열되는 특징이 있어 지지력계수를 판정하는 평판재하시험의 특성상 하중강도 ~ 침하량 곡선이 완만하게 나타나기 때문인 것으로 사료된다. 따라서, 암성토의 경우, 지지력에 의한 다짐도 관리 외에도 전압횟수의 증가에 따른 상대다짐도(밀도에 의한 상대값) 관리도 시방규정상 동시에 확보해야하므로 급변 시험다짐에서 병행하여 측정된 밀도값에 의해 상대다짐도를 비교할 필요가 있다.

다음의 그림 3은 전술한 바와 같이 20회 다짐구역에서 측정된 물치환밀도값을 최대건조밀도로 하여 구한 상대다짐도이다. 그림 3에서 보이는 바와 같이 노상 2층의 경우에는 하부노상에 해당되므로 시방 다짐도 95% 이상 규정을 만족하는 다짐횟수는 10회 이상이면 가능한 것으로 나타났으나, FAA(Federal Aviation Administration)에서 규정한 상부노상 100% 다짐도 규정을 만족하기 위해서는 20회 다짐횟수에서 구한 최대건조밀도를 적용하므로 다짐도 100% 규정을 적용할 경우 현실적으로 20회 다짐횟수를 본 공사에 적용해야 하는 어려움에 처하게 된다.

이러한 현실적인 어려움 때문에 당초 본 시험다짐과는 별도로 실내에서 대형다짐기에 의해 산출한 최대건조밀도의 평균치($n=3$)와 비교한 결과, 그림 4에서 보이는 바와 같이 현장에서 구한 20회 다짐시 건조밀도 2.319t/m^3 보다는 작은 2.191t/m^3 값을 보이고 있다. 현장에서 규정한 최대건조밀도값(다짐횟수 20회 조건)이 대형다짐기에 의해 실내에서 구한 최대건조밀도값 보다 큰 원인에는 여러 가지가 있지만, 일반적으로 실내다짐은 규정무게의 램머에 의한 충격다짐인 반면 현장에서는 다양한 다짐장비를 사용하면서 전압(轉壓), 충격, 짓이김(Knedding) 등 여러 가지 방법의 다짐작용이 동시에 작용하게 되며, 또한 본 시험다짐에 사용한 다짐장비는 진동롤러(10톤 용량)와 타이어롤러(14톤 용량)의 비교적 중량의 다짐장비를 조합하여 다지면서 성토재료의 전압에너지가 실내보다 크게 작용한데 기인한 것으로 판단된다.

이상의 실내다짐시험에 의해 구한 최대건조밀도를 노상 마무리층(이하 노상 FL층으로 함)에 대하여 각각 현장 20회 다짐조건의 최대건조밀도와 비교하여 다시 다짐횟수별 상대다짐도로 구해보면 다음의 그림 5와 같이 된다.

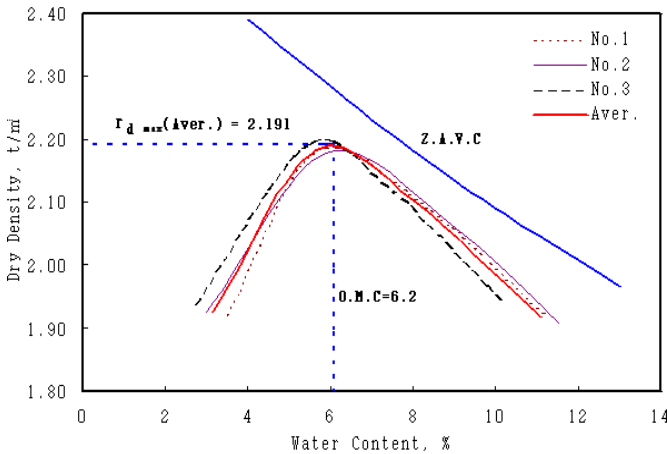


그림 4. 대형실내다짐시험 결과

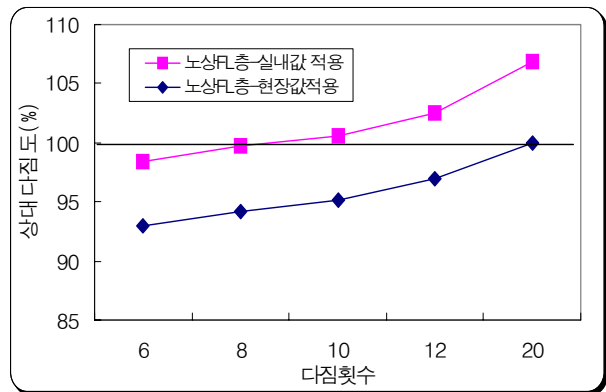


그림 5. 노상마무리층의 상대다짐도 (실내값 및 현장값 비교)

그림 5에서 나타나듯이 현장에서 구한 최대건조밀도 보다는 실내 최대건조밀도값이 낮기 때문에 상대적으로 상대다짐도는 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 FAA 규정에 의한 상부노상 100% 다짐을 만족하기 위해 전술한 바와 같이 현장의 최대건조밀도를 적용할 경우 현실적인 다짐관리가 곤란하다는 문제점을 해결할 수 있는 방안의 일환으로 판단된다.

4.2 지지력계수(K_{30} 및 K_{75}) 및 상대다짐도 검토결과

4.2.1 지지력계수 K_{30} 및 K_{75} 비교 시험다짐 결과

공항부지의 성토관리에 있어 다짐관리는 크게 지지력 및 상대다짐도에 의한 방법이 적용되고 있다. 특히 공항부지는 일반 도로성토와 달리 다짐관리 기준이 대형 항공기 하중을 고려하여 상향 관리되고 있으며, 일반적으로 평판재하시험이 30cm의 원형 재하판을 이용하는데 반하여 본 지역의 당해 공사시방서에는 전술한 바와 같이 공항지역의 특수성을 고려하여 노상의 경우 “평판재하시험의 경우 75cm 재하판 사용시, 지지력환산계수는 2.2를 사용하되, 시험다짐에서 결정되는 관리기준치로 관리”하도록 규정되어 있다. 이러한 지지력에 의한 노상 다짐관리 규정을 만족하기 위해 본 시험다짐시 노체 FL층 및 노상 FL층에 대해서 평판재하시험시 각 다짐횟수 구역별로 K_{30} 및 K_{75} 에 의한 비교 시험을 실시하여 그림 6에 노체 및 노상 FL층에서 실시한 K_{30} 및 K_{75} 의 측정값에 대한 상관관계를 나타내었다.

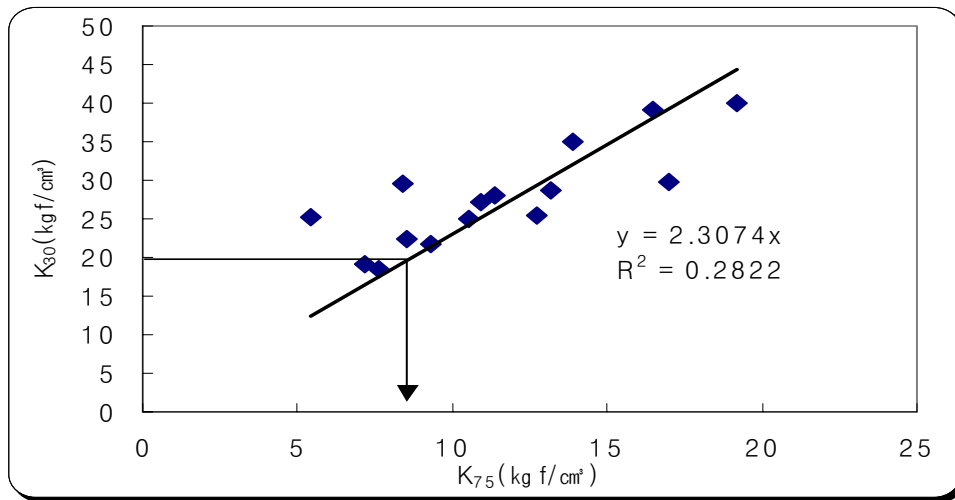


그림 6. K_{30} 및 K_{75} 의 측정값에 대한 상관관계

그림 6에 나타난 바와 같이 K_{30} 및 K_{75} 의 환산계수에 해당하는 절편계수는 2.3074로 일반적으로 적용하는 2.2보다 큰 값을 보이고 있으나, 분석한 회귀식의 상관계수가 0.2822로 본 공사에 적용할 정도의 신뢰수준 95%의 유의한 수준을 보이지 못하고 있다. 이에 대한 원인은 본 분석에 사용한 (x,y)좌표수가 $n=15$ 로 극히 적은 상태이며, 또한 성토재료원(파쇄암 노체 및 노상, 리핑암 등)별로 구별없이 적용한데 기인한 것으로 판단되며, 또한 금번 시험결과의 환산계수를 적용하면 당초 시방규정인 $K_{30} \geq 20$ kgf/cm²의 환산계수 2.2를 적용한 경우의 $K_{75} \geq 9.09$ kgf/cm² 보다는 작은 $K_{75} \geq 8.67$ kgf/cm²이 되어 고품질의 공항부지 건설이 곤란할 것으로 판단되어 당초 시방규정인 환산계수 2.2를 적용하여 관리하는 것이 합리적인 것으로 사료된다. 다만, 본 공사시에 지속적으로 data를 수집하여 재검증할 필요는 있으나, 근본적으로 환산계수 2.2의 범위는 벗어나지 않을 것으로 추정된다.

4.2.2 지지력계수 및 상대다짐도 관계 분석결과

노상의 경우, 다짐층 2층(하부노상)에 대해서는 그림 7에 보이는 바와 같이 지지력계수 시방규정을 만족하는 최소 상대다짐도는 약 92%로서 시방규정인 95% 보다 다소 작은 값을 나타내고 있어 전압횟수를 증가할 필요가 있게 된다. 한편, 노상 FL층의 경우 지지력계수 및 상대다짐도와의 상관관계를 전술한 바와 같이 현장 20회 다짐조건을 최대건조밀도로 하여 산출한 상대다짐도와 실내 최대건조밀도로 산출한 경우로 각각 구분하여 다음의 그림 8에 나타내었다.

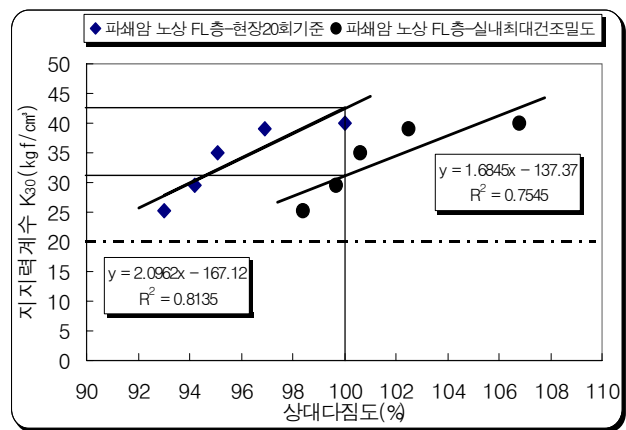
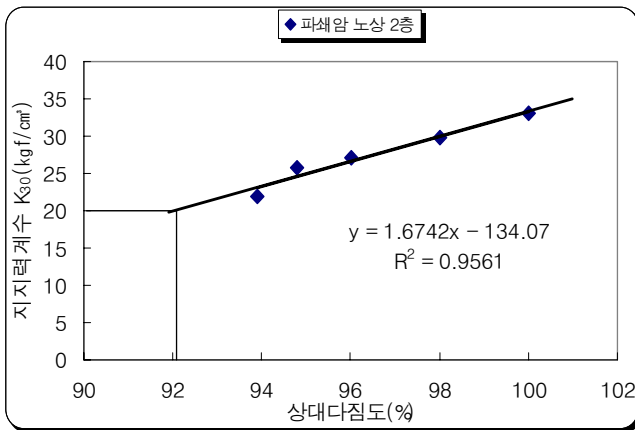


그림 7. 노상 2층 지지력계수 및 상대다짐도 관계 그림 8. 노상마무리층 지지력계수 및 상대다짐도관계 (현장 및 실내 최대건조밀도 적용 비교)

그림 8과 같이 현장 20회 다짐조건의 최대건조밀도를 적용한 경우 상대적으로 대응하는 소요 지지력 계수값이 시방기준보다 훨씬 증가하게 되어 현실적이지 못한 결과를 보이고 있으며, 이와 반대로 실내 최대건조밀도를 적용할 경우에는 시방기준 $K_{30} \geq 20 \text{kgf/cm}^2$ 보다는 약 10kgf/cm^2 정도 증가된 비교적 현실적인 값을 나타내고 있다. 따라서, 공항부지의 노상 다짐관리 기준을 설정함에 있어 지지력에 의한 시방 기준은 공항지역의 특수성을 감안하여 상부노상의 100% 상대다짐도 확보를 위한 소요 지지력계수는 $K_{30} \geq 31 \text{kgf/cm}^2$ 정도가 요망된다고 사료된다.

5. 결 론

금번 인천국제공항 2단계 부지조성 공사에 있어 인근 오성산 토취원에서 생산한 100mm 이하 파쇄암을 대상으로 실시한 암성토 시험다짐 시공에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 생산한 성토재료는 노상 재료규정을 만족하는 것으로 나타났으며, 시험다짐 부지에서 다짐횟수를 증가할 수록 지지력계수 및 상대다짐도는 증가하지만, 하부노상 시방기준($K_{30} \geq 20 \text{kgf/cm}^2$ 및 95%)을 만족하는 적정 다짐횟수는 지지력계수의 경우 6회 이상, 상대다짐도의 경우 10회 이상으로 나타났다.
2. 상부노상의 경우 FAA의 기준인 100% 다짐도 규정을 만족하기 위한 적정 다짐횟수는 현장에서 구한 20회 다짐후 건조밀도를 최대건조밀도로 하여 구하는 경우에는 비현실적인 문제점이 있어, 실내에서 대형다짐기에 의해 구한 실내 최대건조밀도로 환산할 경우 다짐횟수 10회 이상에서 지지력 및 다짐도 모두를 만족하는 결과를 보이고 있다.
3. 지지력 및 다짐도와 의 상관관계로부터 상부노상의 100% 상대다짐도 확보를 위한 소요 지지력계수는 $K_{30} \geq 31 \text{kgf/cm}^2$ 정도로 나타났다.

참고문헌

1. 인천국제공항공사, 유신코퍼레이션, (2004), "인천국제공항 2단계 제3활주로 부지조성공사 설계보고서".
2. 노한섭, 백종은(2002), "성토두께 변화가 다짐효과에 미치는 영향", 대한토목학회논문집, Vol.22, pp.319-330
3. Forssblad L., "Compaction -meter on Vibrating roller for improved compaction control", Bulletin of International Conference on Compaction, Paris, pp. 541-546
4. 위성택, 이원택, 최정권, (2002), "입상재료의 다짐횟수에 따른 특성분석", 대한토목학회학술발표회 논문집, pp.198-201.