

숙련도시험 결과 보고서
(KOLAS PT-2019-23 토질의 입도 및 밀도 시험)

중분류 : 01.006(토질 및 관련제품)

2019. 07.



한국인정기구

KOREA LABORATORY ACCREDITATION SCHEME

요 약 문

숙련도시험 스킴명	KOLAS PT-2019-23 토질의 입도 및 밀도 시험
운영기간	2019.05 ~ 2019.07
분류	01.006(토질 및 관련제품)

숙련도시험 스킴 운영 세부 내용

- 참가기관 수 : 10 기관
 - KOLAS 공인시험기관 : 10 기관
- 숙련도시험 결과의 통계적 분석
 - 설정값 및 숙련도 평가를 위한 표준편차 결정 방법
참가자들의 일치값; 로버스트 분석 - Q/Hampel 기법
 - z' scores에 의한 수행도 평가 결과

구분	요약 결과
입도(0.075 mm)	만족 7 기관, 의심 1 기관, 불만족 0 기관
입도(0.106 mm)	만족 6 기관, 의심 1 기관, 불만족 1 기관
입도(0.250 mm)	만족 8 기관, 의심 0 기관, 불만족 0 기관
입도(0.425 mm)	만족 8 기관, 의심 0 기관, 불만족 0 기관
입도(0.850 mm)	만족 8 기관, 의심 0 기관, 불만족 0 기관
밀도	만족 9 기관, 의심 0 기관, 불만족 0 기관

숙련도시험 아이템

- 시험항목 : 입도 및 밀도
- 시료형태 : 토질 시료

시험방법(권장)

- KS F 2302 : 2017 흙의 입도 시험 방법
- KS F 2308 : 2016 흙의 밀도 시험 방법

숙련도시료의 균질성 및 안정성 평가

- KS Q ISO 13528:2015 부속서 B에 의거 균질성 및 안정성 평가 실시

목 차

1. 서론	4
2. 숙련도시험 스킴 정보	5
2.1 숙련도시료에 대한 설명	5
2.2 숙련도시료 배포 및 수령	6
2.3 숙련도시료 균질성 및 안정성 평가	6
2.4 참가자를 위한 지침	6
2.5 참가자 결과 보고	7
3. 참가시험기관 정보	8
3.1 기본 정보	8
3.2 시험방법 및 사용 장비	9
3.3 참가시험기관 의견	10
4. 통계분석 및 수행도 평가	11
4.1 측정결과 요약	11
4.2 설정값 및 그 표준불확도, 숙련도 평가를 위한 표준편차의 결정	23
4.3 통계분석 방법	28
4.4 수행도 평가 결과	30
5. 검토의견	23
※ 별첨 : 로버스트 분석 - Q/Hampel 기법	38

1. 서론

- 이 보고서는 KOLAS PT-2019-23 토질의 입도 및 밀도 시험에 대한 시험 측정능력을 객관적으로 평가하기 위하여 한국건설생활환경시험연구원이 운영한 숙련도 시험 프로그램의 최종 결과 보고서이다.
- 숙련도시험의 목적은 시험기관의 시험능력을 객관적으로 비교·평가하여 시험기관간 차이점 파악, 측정값의 변동원인을 파악하고 개선함으로써 시험능력을 향상시키는 데 목적이 있으므로 본 프로그램 결과가 시험기관 및 측정자를 비난할 목적으로 사용하여서는 안 된다.
- 또한 본 스킴에서 만족스러운 결과를 달성하였더라도 그 결과를 해당 시험기관이 다른 경우에도 신뢰성이 있는 결과를 얻었다는 주장을 뒷받침하기 위해 사용할 수 없다.
- 이는 품질경영시스템을 운영하며 다수의 숙련도시험 스킴에서 만족스러운 결과를 달성한 실적이 있는 시험기관의 경우 자신이 꾸준히 신뢰성 있는 자료를 얻을 수 있다는 증거로 그 결과를 사용할 자격이 있음을 의미한다.

2. 숙련도시험 스킴 정보

2.1 숙련도시료에 대한 설명

- 숙련도시료는 2018년 한국인정기구(KOLAS)의 학술연구용역을 통해 개발되었으며 토질의 입도 및 밀도 시험을 수행할 수 있도록 <그림 1>과 같이 제작되었다.
- 숙련도시료는 예상되는 참가 기관이 일반적으로 사용하는 「KS F 2302 흙의 입도 시험 방법」 과 「KS F 2308 흙의 밀도 시험 방법」 에 기초하여 제작되었다.

<표 1> 숙련도시료 형태 및 시험항목

시료명	시험항목	단위	(권장)시험표준
토질 시료	입도	%	KS F 2302:2017 흙의 입도 시험 방법
	밀도	g/cm ³	KS F 2308:2016 흙의 밀도 시험 방법



<그림 1> 숙련도시료 구성 및 배포 형태

2.2 숙련도시료 배포 및 수령

- 운송 중 시료 파손을 막기 위해 에어캡으로 감싼 뒤 충진재와 함께 박스 포장 후 2019년 05월 21일 ~ 05월 23일 사이 개별 발송하였다.
- 본 스킴에 참여한 10개 기관 모두 시료의 사용에 이상이 없음을 확인한 후 수령증을 제출하였다.

2.3 숙련도시료 균질성 및 안정성 평가

- 제작된 시료에 대해 KS Q ISO 13528:2015 부속서 B의 평가방법에 따라 시료의 균질성 및 안정성 평가를 실시하였다.

2.4 참가자를 위한 지침

- 숙련도시험을 수행하는데 필요한 정보 및 참가자에 대한 지침 등을 사전 참가요강을 통해 제공하였으며 스킴 진행 중 문의가 있을 경우 세부 사항을 상담하였다. 참가요강에 포함된 내용은 다음과 같다.
 - 프로그램의 목적
 - 참가요건 및 신청방법
 - 프로그램 진행일정
 - 숙련도시료에 대한 설명, 배포 및 수령
 - 시험항목 및 시험방법
 - 시험 시 주의사항
 - 시료수령증 및 결과보고서의 작성요령
 - 숙련도 시험결과의 평가방법
 - 운영기관 연락처
 - 본 프로그램에 대한 의견

2.5 참가자 결과 보고

- 전체적인 일정은 <표 2>와 같이 진행되었으며 모든 참가기관(10개)이 정해진 기한을 준수하여 결과보고서를 제출하였다.

<표 2> PT-2019-23 진행 일정

내 용	일 정	주 체	비 고
신청접수	공지 ~ 5월 17일	참가기관, 운영기관	
시료배포	5월 23일까지	운영기관	일괄배송
시료수령증 송부	수령 후 3일내	참가기관	홈페이지 업로드
시험실시	시험기관 자유	참가기관	
결과보고	6월 7일 자정까지	참가기관	홈페이지 업로드 일자 기준
참가자에게 결과공지	7월 31일	운영기관	

3. 참가시험기관 정보

3.1 기본 정보

- 모든 기관이 KOLAS 공인 시험기관이며 이 중 8개 기관은 본 숙련도시험 항목을 인정범위에 포함하고 있다.(<표 3>) KOLAS 인정 여부는 참가기관이 제출한 참가신청서를 기준으로 분류하였다.

<표 3> 참가기관 분류(총 10 개 기관)

KOLAS 공인 시험기관		비 KOLAS 공인 시험기관
10 개		0 개
해당 시험항목 인정 시험기관	해당 시험항목 비인정 시험기관	
8 개	2 개	

3.2 시험방법 및 사용 장비

- 모든 참가기관이 참가요강에 제시된 권장 규격(KS F 2302 흙의 입도 시험 방법, KS F 2308 흙의 밀도 시험 방법)에 따라 시험한 것으로 보고하였으며 참가기관별 사용 장비 내역은 아래 <표 4>와 같다. 비밀유지를 위해 시험기관마다 개별 식별 번호(Lab Code, Lab-01~10)를 부여하였다.

<표 4> 참가기관별 사용 장비 내역

Lab Code	측정 장비	제작사	모델	교정 여부
Lab-01	전자저울	Precisa(스위스)	XT1220M	○
	전자저울	한국AND	HP-20K	○
	표준체	한국정밀	-	○
	비중병	삼덕	-	○
	항온건조로	대한정밀	FO1000S	○
Lab-02	전기식 지시저울	HANGSUNG	HS4200S	○
	전기식 지시저울	OHAUS	CUX620H	○
	비중병	삼덕	-	○
	표준체	한국정밀	-	○
Lab-03	표준체	SAE HWA	-	○
	전기식 전자저울	OHAUS	-	○
	전기식 전자저울	LIGHT EVER	-	○
	디지털 온습도계	-	HTC-1	○
Lab-04	전자지시저울	SHIMADZU	CBL 3200H	○
	시험용체	청계상공사	#10~#200	○
	전자지시저울	Sartorius AG	ALC 3103	○
	비중병	Daewoo Scientific	-	○
	유리제 온도계	대광계기제작소	-	○
	항온건조로	Daewoo Scientific	열풍순환식	○
Lab-05	건조기	한영	DX9	○
	표준체	한국정밀	-	○
	유리제 온도계	대광계기	-	○
	전기식지시저울	AND	GF-1000	○
	비중병	삼덕	-	○

<표 4> 참가기관별 사용 장비 내역

Lab-06	저울	OHAUS	PAG2102	0
	표준체	청계상공사	청계상공사	0
	피크노미터	명성화학기	100 ml	-
	저울	한성	HS2130	0
	온도계	계측기	NO94302	0
	건조로	한영전자	HS-DO	0
Lab-07	표준체	청계 상공사	-	0
	전기식 지시저울	AND	GX-1000	0
	전기식 지시저울	AND	FX-3000i	0
	디지털온도계	SUMMIL	DT400	0
	건조로	SORI TECH	CO-360	0
Lab-08	ELECTRIC BALANCE	OHAUS	EX1103G	0
	DIGITAL THERMOMETER	SATO	SK-250WP	0
Lab-09	전기식 지시저울	OHAUS	AS200S	0
	열전식 디지털온도계	TES	1300	0
	열풍순환식 건조기	화성산업	FO1000	0
Lab-10	전자저울	AND	GF-4000	0
	열풍순환건조기	신강정밀공업	-	0
	표준체	한국정밀	-	0

3.3 참가시험기관 의견

- 숙련도시험 스킴에 대한 참가기관들의 의견을 차기 스킴에 반영하기 위하여 결과보고서 제출과 함께 참가자들의 의견을 수렴한 결과 특별한 의견은 없었다.

4. 통계분석 및 수행도 평가

4.1 측정결과 요약

- 본 프로그램에 참여한 시험 기관들의 측정결과 보고값, 통계요약 및 결과분포를 <표 5> ~ <표 10>에 나타내었다. 통계요약 및 결과분포는 히스토그램을 활용하여 나타내었다.

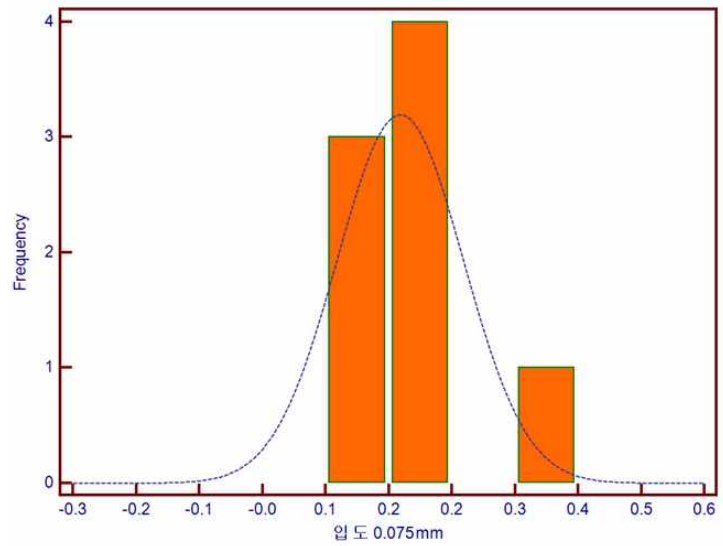
<표 5> 참가기관 보고값 - 입도(0.075 mm)

(단위: %)

Lab Code	보고값			불확도 (U)
	1회	2회	평균값	
Lab-01	0.17	0.14	0.16	0.0013
Lab-02	0.09	0.20	0.15	0.01
Lab-03	0.22	0.18	0.20	0.04
Lab-04	0.19	0.23	0.21	0.01
Lab-05	0.33	0.36	0.35	0.34
Lab-06	0.09	0.10	0.10	0.01
Lab-07	0.08	0.09	0.09	0.02
Lab-10	0.06	0.07	0.07	1.61

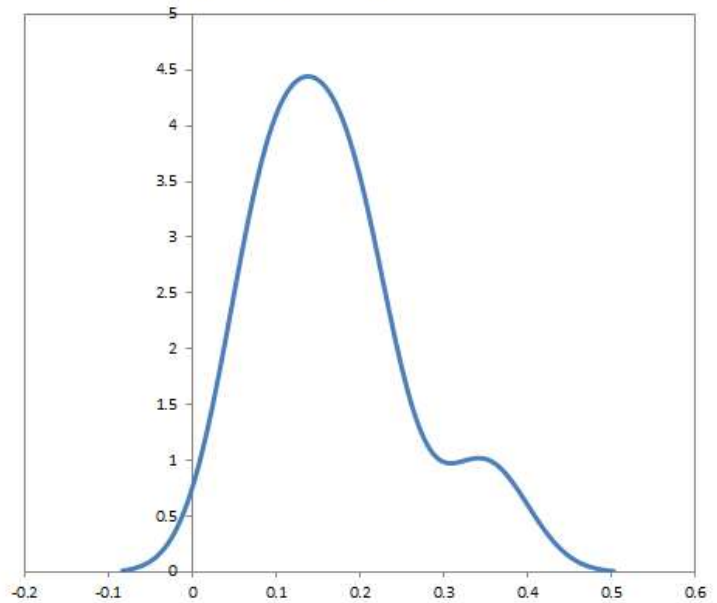
< 통계요약 및 결과분포 >

입도(0.075 mm)	
평균	0.166
표준 오차	0.0318
중앙값	0.155
최빈값	—
표준 편차	0.0899
분산	0.00808
첨도	1.836
왜도	1.231
범위	0.28
최소값	0.07
최대값	0.35
합	1.33
관측수	8



Histogram

Kernel Density Plot
Used hOpt = 5.09586077481323E-02



Kernel Density Plot

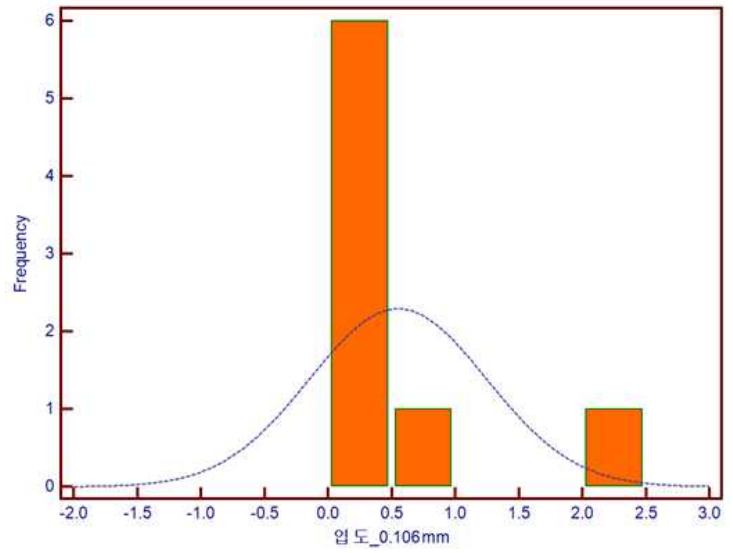
<표 6> 참가기관 보고값 - 입도(0.106 mm)

(단위: %)

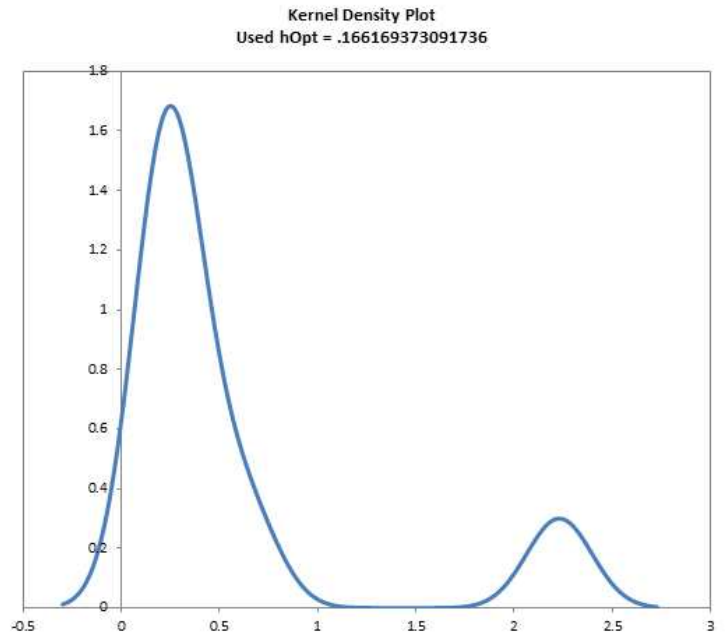
Lab Code	보고값			불확도 (U)
	1회	2회	평균값	
Lab-01	0.23	0.19	0.21	0.01
Lab-02	0.27	0.31	0.29	0.01
Lab-03	2.25	2.20	2.23	0.04
Lab-04	0.35	0.42	0.39	0.01
Lab-05	0.61	0.67	0.64	0.34
Lab-06	0.24	0.21	0.23	0.01
Lab-07	0.17	0.23	0.20	0.02
Lab-10	0.18	0.21	0.20	1.61

< 통계요약 및 결과분포 >

입도(0.106 mm)	
평균	0.549
표준 오차	0.246
중앙값	0.26
최빈값	0.2
표준 편차	0.696
분산	0.484
첨도	6.888
왜도	2.590
범위	2.03
최소값	0.2
최대값	2.23
합	4.39
관측수	8



Histogram



Kernel Density Plot

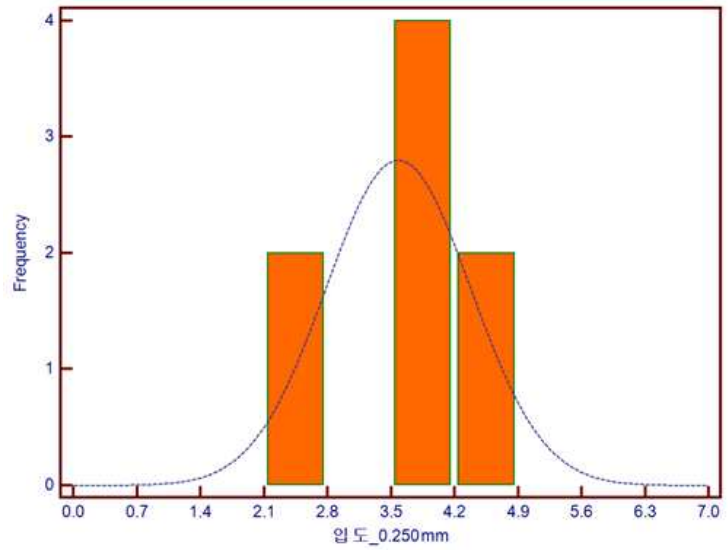
<표 7> 참가기관 보고값 - 입도(0.250 mm)

(단위: %)

Lab Code	보고값			불확도 (U)
	1회	2회	평균값	
Lab-01	2.25	2.28	2.27	0.01
Lab-02	2.86	2.65	2.75	0.0098
Lab-03	3.67	3.73	3.70	0.04
Lab-04	3.59	3.48	3.54	0.01
Lab-05	3.73	3.76	3.75	0.34
Lab-06	4.34	4.38	4.36	0.01
Lab-07	4.61	4.92	4.76	0.02
Lab-10	3.25	3.75	3.50	1.68

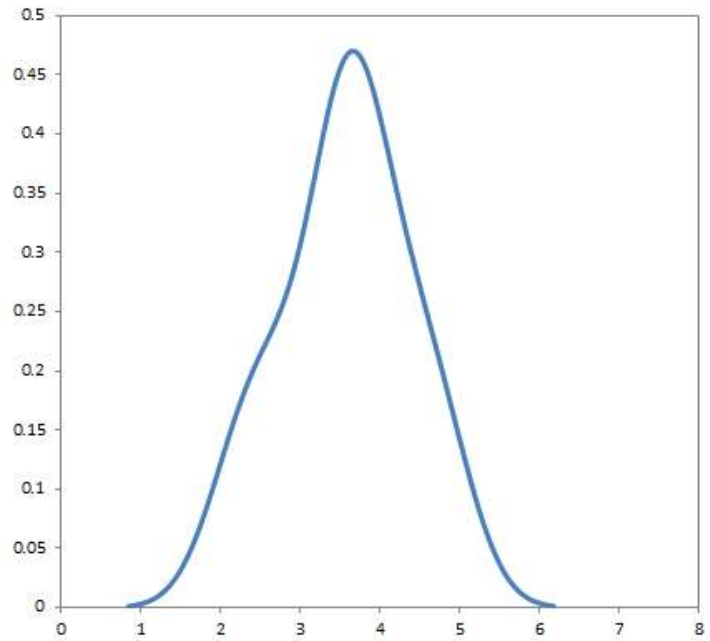
< 통계요약 및 결과분포 >

입도(0.250 mm)	
평균	3.579
표준 오차	0.282
중앙값	3.620
최빈값	#N/A
표준 편차	0.7980
분산	0.6367
첨도	-0.0575
왜도	-0.2547
범위	2.49
최소값	2.27
최대값	4.76
합	28.63
관측수	8



Histogram

Kernel Density Plot
Used hOpt = .473806562953245



Kernel Density Plot

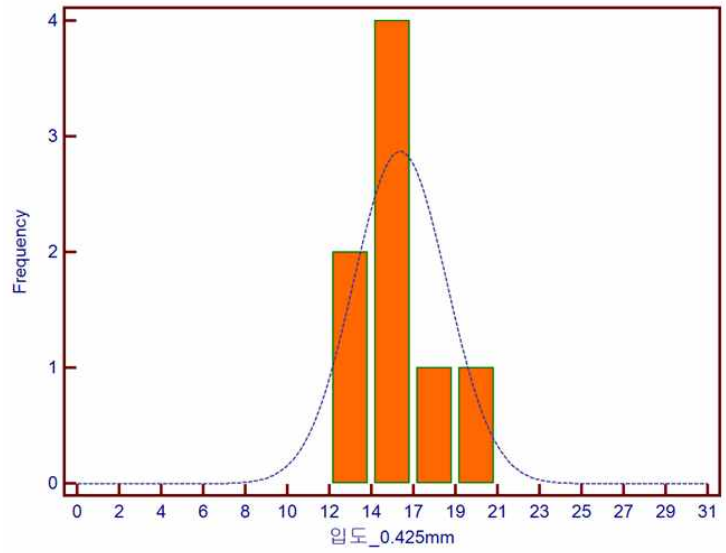
<표 8> 참가기관 보고값 - 입도(0.425 mm)

(단위: %)

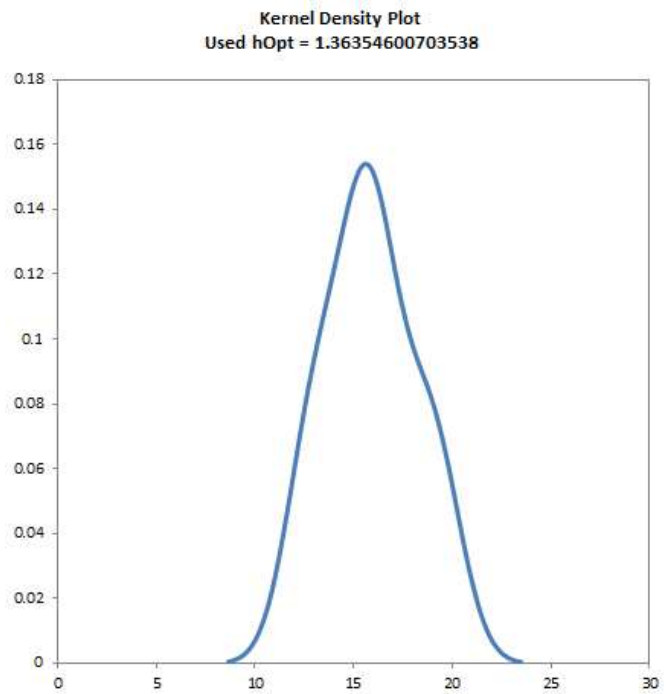
Lab Code	보고값			불확도 (U)
	1회	2회	평균값	
Lab-01	12.76	13.72	13.24	0.02
Lab-02	13.30	12.18	12.74	0.0086
Lab-03	15.90	15.90	15.90	0.06
Lab-04	16.64	16.32	16.48	0.01
Lab-05	15.36	15.32	15.34	0.34
Lab-06	18.42	18.56	18.49	0.01
Lab-07	19.26	19.51	19.39	0.02
Lab-10	14.96	15.71	15.33	1.77

< 통계요약 및 결과분포 >

입도(0.425 mm)	
평균	15.864
표준 오차	0.812
중앙값	15.62
최빈값	#N/A
표준 편차	2.296
분산	5.273
첨도	-0.645
왜도	0.210
범위	6.65
최소값	12.74
최대값	19.39
합	126.91
관측수	8



Histogram



Kernel Density Plot

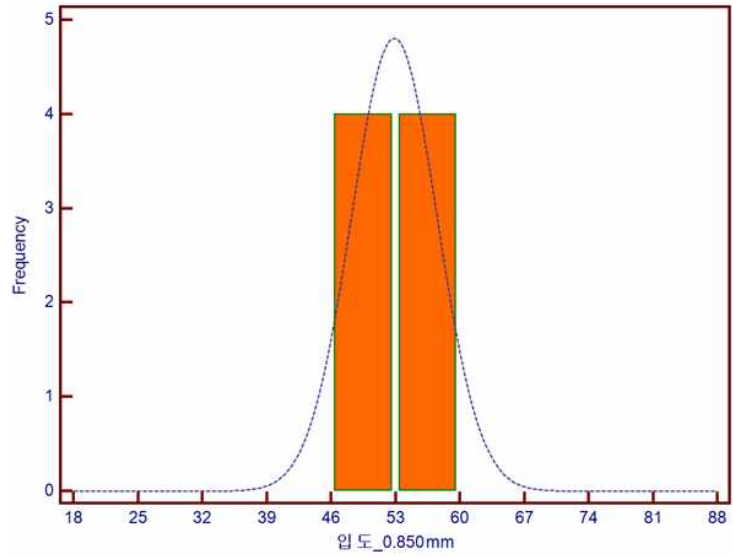
<표 9> 참가기관 보고값 - 입도(0.850 mm)

(단위: %)

Lab Code	보고값			불확도 (U)
	1회	2회	평균값	
Lab-01	49.10	48.41	48.76	0.64
Lab-02	47.50	46.09	46.80	0.0052
Lab-03	48.54	48.50	48.52	0.08
Lab-04	53.33	53.53	53.43	0.01
Lab-05	52.62	53.04	52.83	0.34
Lab-06	58.64	58.92	58.78	0.01
Lab-07	60.30	58.27	59.28	0.01
Lab-10	53.89	54.87	54.38	1.88

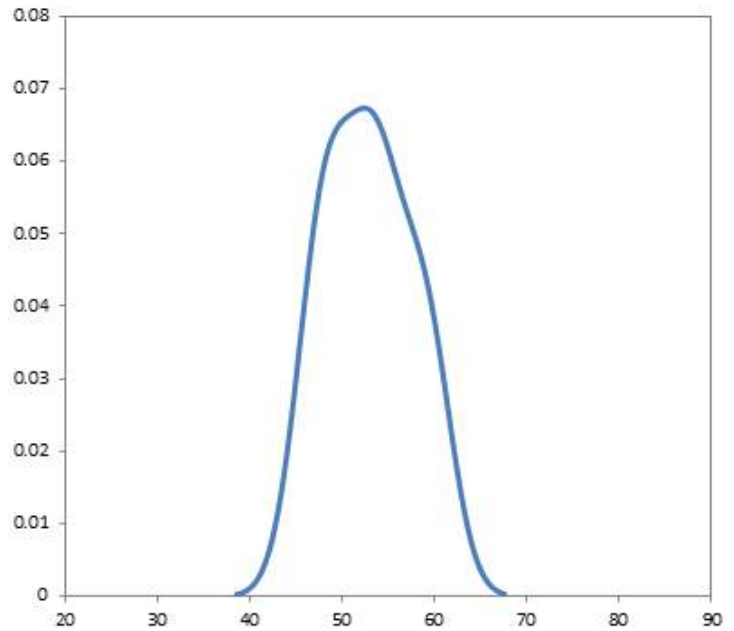
< 통계요약 및 결과분포 >

입도(0.850 mm)	
평균	52.848
표준 오차	1.644
중앙값	53.13
최빈값	—
표준 편차	4.649
분산	21.610
첨도	-1.285
왜도	0.205
범위	12.48
최소값	46.8
최대값	59.28
합	422.78
관측수	8



Histogram

Kernel Density Plot
Used hOpt = 2.7602442711493



Kernel Density Plot

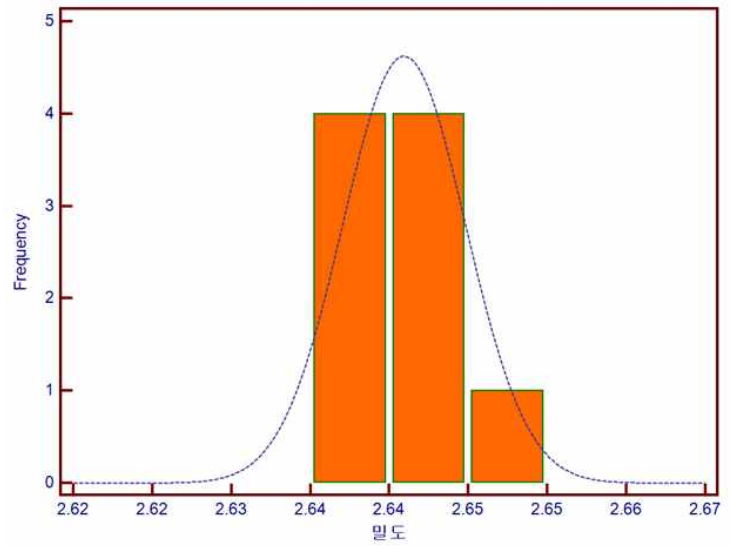
<표 10> 참가기관 보고값 - 밀도

(단위: g/cm³)

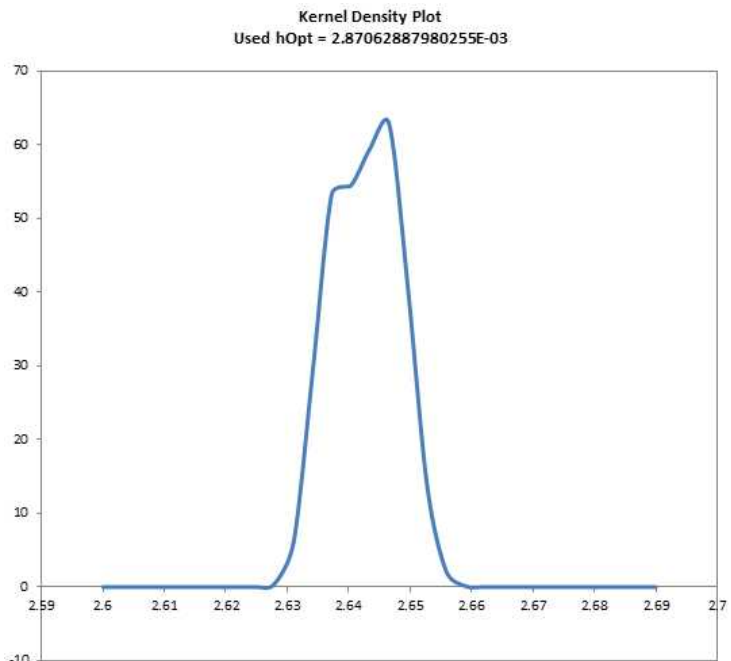
Lab Code	보고값					불확도 (U)
	1회	2회	3회	4회	평균값	
Lab-01	2.638	2.636	2.639	2.634	2.637	0.001
Lab-02	2.636	2.634	2.635	2.637	2.636	0.004
Lab-03	2.653	2.648	2.649	2.652	2.650	0.001
Lab-04	2.647	2.648	2.647	2.647	2.647	0.002
Lab-05	2.645	2.648	2.646	2.644	2.646	0.002
Lab-06	2.641	2.640	2.638	2.643	2.641	0.002
Lab-07	2.636	2.637	2.638	2.640	2.638	0.005
Lab-08	2.643	2.641	2.642	2.645	2.643	0.003
Lab-09	2.64945	2.64717	2.64681	2.64195	2.646	0.005

< 통계요약 및 결과분포 >

밀도	
평균	2.6427
표준 오차	0.00165
중앙값	2.643
최빈값	2.646
표준 편차	0.00495
분산	0.0000245
첨도	-1.4567
왜도	-0.0459
범위	0.014
최소값	2.636
최대값	2.65
합	23.784
관측수	9



Histogram



Kernel Density Plot

4.2 설정값 및 표준불확도, 숙련도 평가를 위한 표준편차 결정

4.2.1 설정값 및 숙련도 평가를 위한 표준편차 산출

- 수행도 평가를 위해서는 설정값(x_{pt}) 및 그 표준불확도($u(x_{pt})$), 숙련도 평가를 위한 표준편차(σ_{pt})에 대한 합리적인 결정이 선행되어야 한다.
- KS Q ISO 13528:2015에 규정된 설정값 결정 방법 5가지¹⁾ 중 본 스킴의 숙련도 시험물의 속성, 참가기관의 성격, 참가기관 수 등을 고려하여 “참가자들의 일치값”을 설정값 결정 방법으로 선택하였다.
- KS Q ISO 13528:2015에서 “참가자들의 일치값” 접근법에서 특별한 이유가 없다면 로버스트 통계분석을 사용하도록 권고하므로 동 규격에서 제시하는 “로버스트 분석 - Q/Hampel 기법²⁾”을 이용하여 설정값 및 숙련도 시험 표준편차를 구하였다.
- KS Q ISO 13528:2015에서는 Q/Hampel 기법이 기존 알고리즘A 등의 기법과 비교할 때 다음과 같은 장점을 가지고 있어 적극 사용하도록 권장하고 있다.
 - 결과의 20 % 이상이 극단값(outlier)인 경우에도 통계분석 가능
 - 쌍봉(다봉) 분포의 경우 분석의 신뢰도 향상
 - 참가자의 대표값뿐만 아니라 결과값(반복 데이터) 모두 활용 가능
(반복 데이터를 모두 활용함으로써 통계분석을 위한 표본 개수를 늘리는 효과를 가짐)

1) ① 수식화(Formulation) ② 인증 기준값(Certified reference values) ③ 기준값(Reference values) ④ 전문 시험소들로부터의 일치값(Consensus values from expert labs) ⑤ 참가자들의 일치값(Consensus values from participants)
ISO 13528 7.3~7.7 참조(KS Q ISO 13528 6.2~6.6 참조)

2) ISO 13528의 부속서 C.3(KS Q ISO 13528의 부속서 C.3) 참조. 자세한 계산방법은 ‘별첨’에서 설명한다.

- 본 스킴에서는 반복 데이터를 모두 활용(통계분석을 위한 표본 개수 증대)함으로써 결과의 신뢰도를 향상 시킬 수 있는 Q/Hampel 기법을 적용하여 로버스트 평균 및 로버스트 표준편차를 산출하였다.

<표 11> 로버스트 분석을 통해 정해진 설정값 및 숙련도 평가를 위한 표준편차
(입도 : %, 밀도 : g/cm³)

시험항목	설정값(x_{pt})	숙련도 평가를 위한 표준편차(σ_{pt})
	robust mean(x^*)	robust standard deviation(s^*)
입도(0.075 mm)	0.153	0.075 7
입도(0.106 mm)	0.278	0.120 3
입도(0.250 mm)	3.579	0.849 0
입도(0.425 mm)	15.845	2.073
입도(0.850 mm)	52.797	4.283
밀도	2.643	0.006 1

4.2.2 설정값의 표준불확도 산출

- 설정값의 표준불확도($u(x_{pt})$)가 숙련도 평가를 위한 표준편차(σ_{pt})와 비교하여 크게 되면 시험기관내의 원인 때문이 아니라 설정값 결정의 부정확성 때문에 일부 시험기관이 ‘불만족’ 또는 ‘의심’ 통보를 받게 될 위험이 있다. 따라서 아래 식을 통해 산출된 설정값의 표준불확도가 무시할 수 없는 수준(4.3항 참고)인 경우 수행도 평가 시 반영한다.

$$u(x_{pt}) = 1.25 \times \frac{s^*}{\sqrt{p}}$$

$u(x_{pt})$: 설정값 x_{pt} 의 표준불확도

s^* : 로버스트 표준편차

p : 숙련도시험에 참여한 시험기관 숫자

<표 12> 설정값의 표준불확도 산출 결과

(입도 : %, 밀도 : g/cm³)

시험항목	설정값(x_{pt})	설정값의 표준불확도($u(x_{pt})$)
입도(0.075 mm)	0.153	0.033 5
입도(0.106 mm)	0.278	0.053 1
입도(0.250 mm)	3.579	0.375 2
입도(0.425 mm)	15.845	0.916 1
입도(0.850 mm)	52.797	1.892 8
밀도	2.643	0.002 5

4.2.3 숙련도 평가를 위한 표준편차(σ_{pt})에 대한 추가 고려사항

- 숙련도시료의 안정성 평가를 위한 시험 결과가 KS Q ISO 13528:2015의 부속서 B B.4항 안정성 평가 기준에 따라 아래 식을 만족하면 숙련도시료는 충분히 안정한 것으로 보며 수행도 평가 시 시료의 영향을 고려하지 않아도 된다.

$$|\bar{x} - \bar{y}| \leq 0.3 \times \sigma_{pt}$$

\bar{x} : 균질성 시험 결과 평균
 \bar{y} : 안정성 시험 결과 평균
 σ_{pt} : 숙련도 평가를 위한 표준편차

- 위 기준에 부합하지 않을 경우 KS Q ISO 13528:2015의 부속서 B.5.3항에서는 아래 선택사항을 고려하도록 제시하고 있다.
 - ① 불안정성의 영향을 정량화하여 평가 시 감안(ex. *z' scores* 이용)
 - ② 개선이 가능한지 확인하기 위해 숙련도시험 아이템의 준비 및 보관 절차 검토
 - ③ 참가자 수행 능력 평가 시 제외

○ 안정성 평가 결과 입도(0.075 mm) 항목이 아래와 같이 불만족으로 나타나 <표 13>와 같이 불안정성의 영향을 정량화하여 숙련도 평가를 위한 표준편차에 포함시킨다.

- 입도(0.075 mm) 항목 안정성 평가 결과

$$|\bar{x} - \bar{y}| \leq 0.3 \times \sigma_{pt}$$

$$|0.185 - 0.150| \leq 0.3 \times 0.0757$$

$$|0.035| \leq 0.023 \quad \Leftarrow \text{평가 기준 "불만족"}$$

<표 13> 시료 간 표준편차가 포함된 숙련도 평가를 위한 표준편차

(입도 : %, 밀도 : g/cm³)

시험항목	숙련도 평가를 위한 표준편차 (σ_{pt})	시료의 안정성 편차 (s_{stb})	시료의 안정성 편차가 포함된 숙련도 평가를 위한 표준편차 ($\sigma'_{pt} = \sqrt{\sigma_{pt}^2 + s_{stb}^2}$)
입도(0.075 mm)	0.075 7	0.035	0.083 4
입도(0.106 mm)	0.120 3	포함대상 아님	
입도(0.250 mm)	0.849 0		
입도(0.425 mm)	2.073		
입도(0.850 mm)	4.283		
밀도	0.006 1		

- 최종적으로 결정된 숙련도시험의 설정값 및 그 표준불확도, 숙련도 평가를 위한 표준편차는 아래 <표 14>과 같다.

<표 14> 숙련도시험의 설정값 및 그 표준불확도, 숙련도 평가를 위한 표준편차
(입도 : %, 밀도 : g/cm³)

시험항목	설정값(x_{pt})	설정값의 표준불확도($u(x_{pt})$)	숙련도 평가를 위한 표준편차(σ_{pt})
입도(0.075 mm)	0.153	0.033 5	0.083 4
입도(0.106 mm)	0.278	0.053 1	0.120 3
입도(0.250 mm)	3.579	0.375 2	0.849 0
입도(0.425 mm)	15.845	0.916 1	2.073
입도(0.850 mm)	52.797	1.892 8	4.283
밀도	2.643	0.002 5	0.006 1

4.3 통계분석 방법

- 설정값의 표준불확도($u(x_{pt})$)가 숙련도 평가를 위한 표준편차(σ_{pt})와 비교하여 상대적으로 크면 시험기관내의 원인 때문이 아니라 설정값 결정의 부정확성 때문에 일부 시험기관이 ‘불만족’ 또는 ‘의심’ 통보를 받게 될 위험이 있다.
- 설정값의 불확도 제한 지침(KS Q ISO 13528:2015 9.2항)에 따라 설정값의 표준 불확도가 아래의 식을 만족한다면 설정값의 불확도는 무시할 만하며 시험결과의 해석에 포함될 필요가 없다.

$$u(x_{pt}) < 0.3\sigma_{pt}$$

$u(x_{pt})$: 설정값 x_{pt} 의 표준불확도

σ_{pt} : 숙련도 평가를 위한 표준편차

- 그러나 본 스킴에서 설정값의 표준불확도($u(x_{pt})$)는 해당 지침을 만족하지 않으므로 설정값의 불확도를 무시할 수 없는 것으로 판단하였다.

- 입도(0.075 mm)

$$u(x_{pt}) = 0.0335, \quad 0.3\sigma_{pt} = 0.0227 (\sigma_{pt} = 0.0757)$$

$$u(x_{pt}) > 0.3\sigma_{pt} \rightarrow \text{설정값의 불확도 “무시 불가”}$$

- 입도(0.106 mm)

$$u(x_{pt}) = 0.0531, \quad 0.3\sigma_{pt} = 0.0361 (\sigma_{pt} = 0.1203)$$

$$u(x_{pt}) > 0.3\sigma_{pt} \rightarrow \text{설정값의 불확도 “무시 불가”}$$

- 입도(0.250 mm)

$$u(x_{pt}) = 0.3752, \quad 0.3\sigma_{pt} = 0.2547 (\sigma_{pt} = 0.8490)$$

$$u(x_{pt}) > 0.3\sigma_{pt} \rightarrow \text{설정값의 불확도 “무시 불가”}$$

- 입도(0.425 mm)

$$u(x_{pt}) = 0.9161, \quad 0.3\sigma_{pt} = 0.6219 (\sigma_{pt} = 2.073)$$

$$u(x_{pt}) > 0.3\sigma_{pt} \rightarrow \text{설정값의 불확도 “무시 불가”}$$

- 입도(0.850 mm)

$$u(x_{pt}) = 1.8928, \quad 0.3\sigma_{pt} = 1.2849 (\sigma_{pt} = 4.283)$$

$$u(x_{pt}) > 0.3\sigma_{pt} \rightarrow \text{설정값의 불확도 “무시 불가”}$$

- 밀도

$$u(x_{pt}) = 0.0025, \quad 0.3\sigma_{pt} = 0.0018 (\sigma_{pt} = 0.0061)$$

$$u(x_{pt}) > 0.3\sigma_{pt} \rightarrow \text{설정값의 불확도 “무시 불가”}$$

- 최종적으로 모든 시험항목이 설정값의 표준불확도를 무시할 수 없는 것으로 평가되어 z' scores를 사용하며 입도(0.075 mm) 항목의 경우 시료의 안정성 편차가 포함된 *modified z' scores*를 활용하여 수행도 평가를 진행한다.

- z' scores(0.075 mm 입도 외 항목에 적용)

$$z'_i = \frac{(x_i - x_{pt})}{\sqrt{\sigma_{pt}^2 + u^2(x_{pt})}}$$

x_i : 참가기관 측정결과

x_{pt} : 설정값

σ_{pt} : 숙련도 평가를 위한 표준편차

$u(x_{pt})$: 설정값 x_{pt} 의 표준불확도

- *modified z' scores*(0.075 mm 입도 항목에 적용)

$$z'_i = \frac{(x_i - x_{pt})}{\sqrt{\sigma'_{pt}{}^2 + u^2(x_{pt})}} = \frac{(x_i - x_{pt})}{\sqrt{\sigma_{pt}^2 + s_{stb}^2 + u^2(x_{pt})}}$$

x_i : 참가기관 측정결과

x_{pt} : 설정값

σ_{pt} : 숙련도 평가를 위한 표준편차

s_{stb} : 시료의 안정성 편차

σ'_{pt} : 시료의 안정성 편차가 포함된 숙련도 평가를 위한 표준편차

$$(\sigma'_{pt} = \sqrt{\sigma_{pt}^2 + s_{stb}^2})$$

$u(x_{pt})$: 설정값 x_{pt} 의 표준불확도

σ_{pt} : 숙련도 평가를 위한 표준편차

s_s : 시료 간 표준편차

4.4 수행도 평가 결과

- KS Q ISO 13528:2015 9.4.2항에 따라 참가기관의 z' scores가 3.0 이상이거나 -3.0 이하의 시험기관 편의를 유발하는 결과를 보고하면 그 결과는 “조치 통보”를 유발하는 것으로 간주된다. 비슷하게 2.0 초과나 -2.0 미만의 시험기관 편의는 “주의 통보”를 유발하는 것으로 간주한다.

$|z'| \leq 2.0$ 만족

$2.0 < |z'| < 3.0$ 의심(주의 통보)

$|z'| \geq 3.0$ 불만족(조치 통보)

- 수행도 평가결과는 아래 <표 15>과 같다.

<표 15> 수행도 평가결과 해석

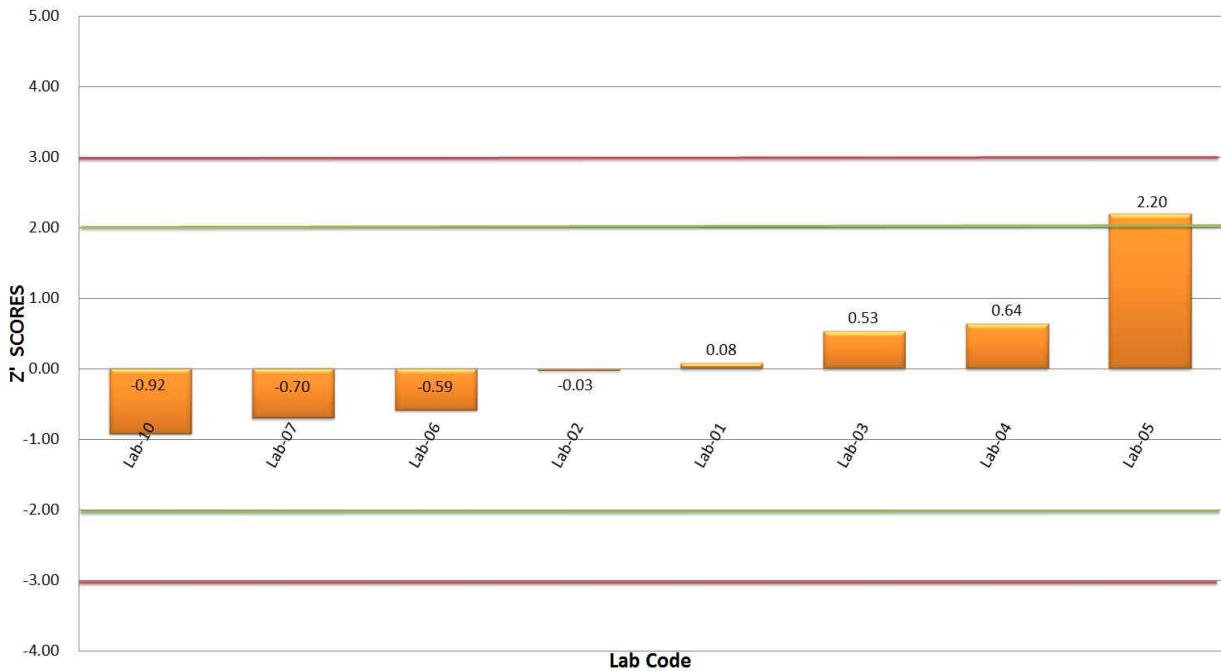
구 분	의심 결과 (Lab Code)	불만족 결과 (Lab Code)
입도(0.075 mm)	<u>Lab-05</u>	-
입도(0.106 mm)	<u>Lab-05</u>	<u>Lab-03</u>
입도(0.250 mm)	-	-
입도(0.425 mm)	-	-
입도(0.850 mm)	-	-
밀도	-	-

○ z' scores에 따른 참가기관별 수행도 평가결과는 <표 16 ~ 21> 및 <그림 2 ~ 7>에 표시하였으며 통계분석은 Excel 프로그램을 활용하였다.

<표 16> 참가기관별 수행도 평가결과 - 입도(0.075 mm)

Lab Code	결과값(%)	z' scores	수행도 평가결과
Lab-01	0.16	0.08	만족
Lab-02	0.15	-0.03	만족
Lab-03	0.20	0.53	만족
Lab-04	0.21	0.64	만족
Lab-05	0.35	2.20	의심
Lab-06	0.10	-0.59	만족
Lab-07	0.09	-0.70	만족
Lab-10	0.07	-0.92	만족

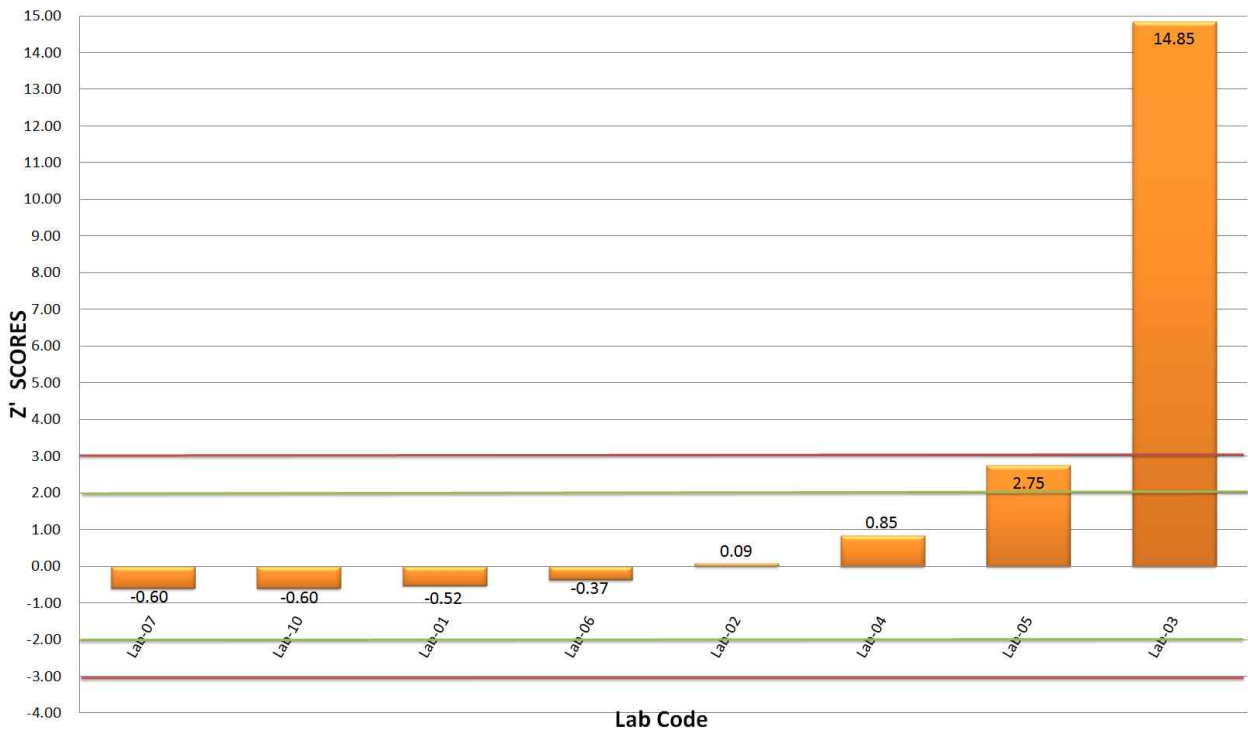
<그림 2> 수행도 평가 그래프 - 입도(0.075 mm)



<표 17> 참가기관별 수행도 평가결과 - 입도(0.106 mm)

Lab Code	결과값(%)	z' scores	수행도 평가결과
Lab-01	0.21	-0.52	만족
Lab-02	0.29	0.09	만족
Lab-03	2.23	14.85	불만족
Lab-04	0.39	0.85	만족
Lab-05	0.64	2.75	의심
Lab-06	0.23	-0.37	만족
Lab-07	0.20	-0.60	만족
Lab-10	0.20	-0.60	만족

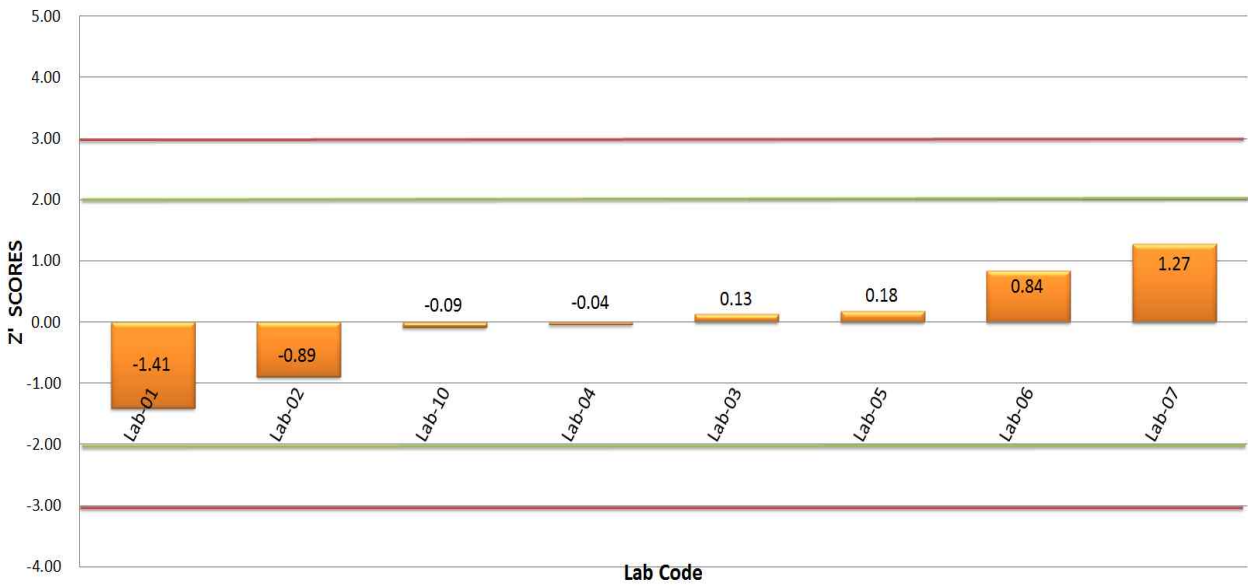
<그림 3> 수행도 평가 그래프 - 입도(0.106 mm)



<표 18> 참가기관별 수행도 평가결과 - 입도(0.250 mm)

Lab Code	결과값(%)	z' scores	수행도 평가결과
Lab-01	2.27	-1.41	만족
Lab-02	2.75	-0.89	만족
Lab-03	3.70	0.13	만족
Lab-04	3.54	-0.04	만족
Lab-05	3.75	0.18	만족
Lab-06	4.36	0.84	만족
Lab-07	4.76	1.27	만족
Lab-10	3.50	-0.09	만족

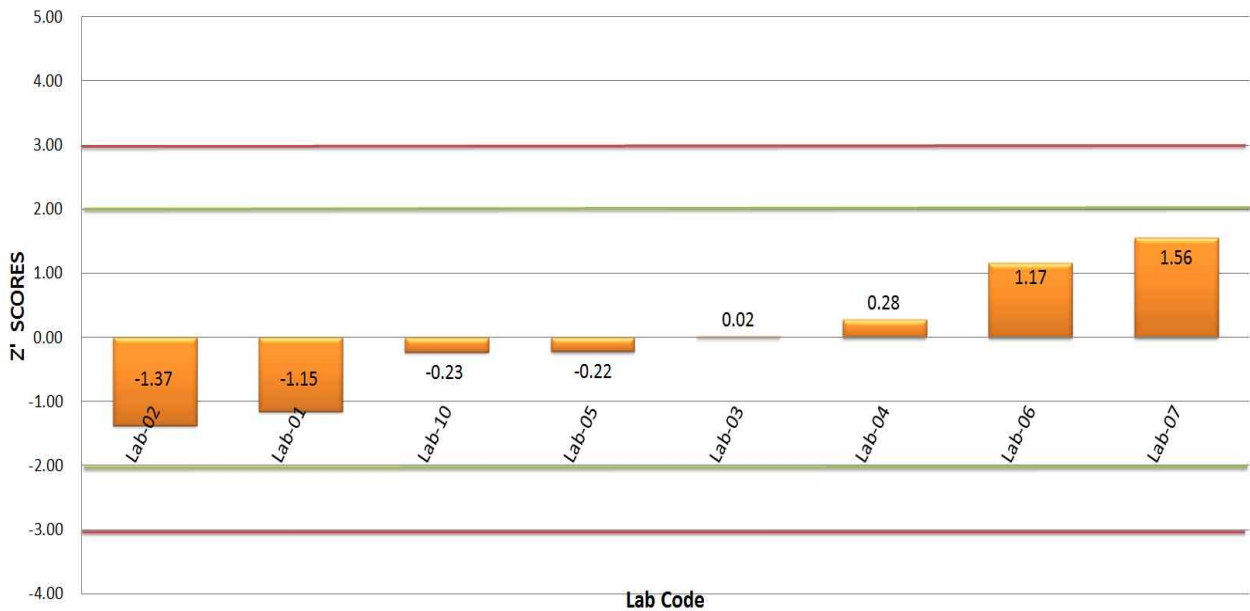
<그림 4> 수행도 평가 그래프 - 입도(0.250 mm)



<표 19> 참가기관별 수행도 평가결과 - 입도(0.425 mm)

Lab Code	결과값(%)	z' scores	수행도 평가결과
Lab-01	13.24	-1.15	만족
Lab-02	12.74	-1.37	만족
Lab-03	15.90	0.02	만족
Lab-04	16.48	0.28	만족
Lab-05	15.34	-0.22	만족
Lab-06	18.49	1.17	만족
Lab-07	19.39	1.56	만족
Lab-10	15.33	-0.23	만족

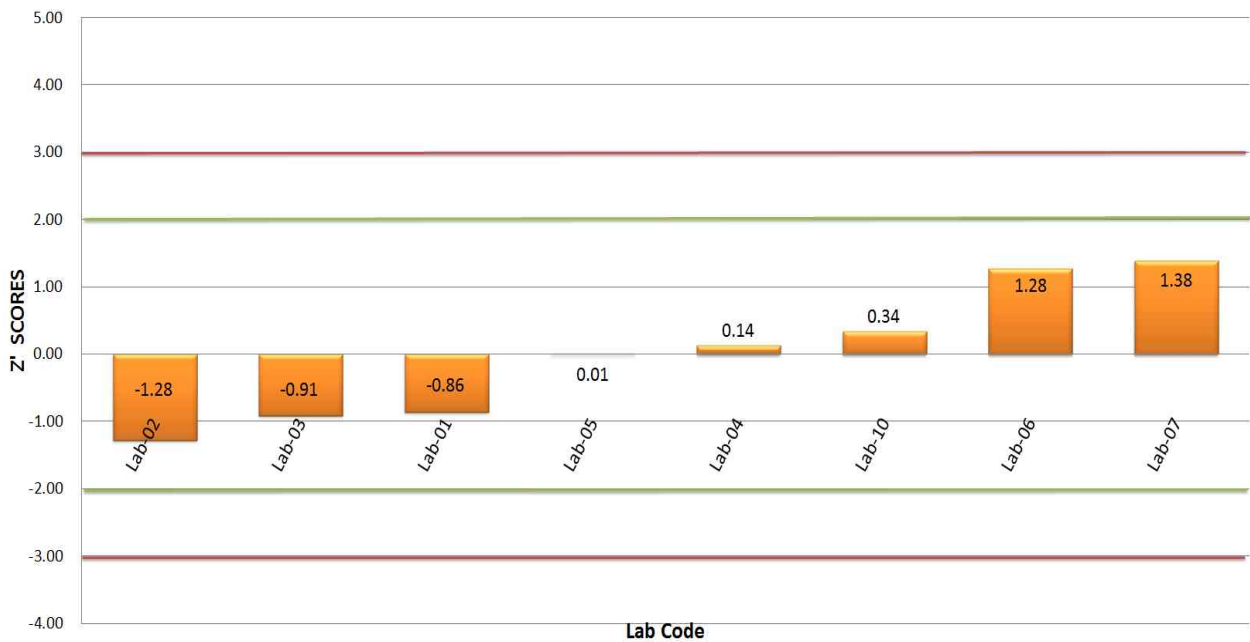
<그림 5> 수행도 평가 그래프 - 입도(0.425 mm)



<표 20> 참가기관별 수행도 평가결과 - 입도(0.850 mm)

Lab Code	결과값(%)	z' scores	수행도 평가결과
Lab-01	48.76	-0.86	만족
Lab-02	46.80	-1.28	만족
Lab-03	48.52	-0.91	만족
Lab-04	53.43	0.14	만족
Lab-05	52.83	0.01	만족
Lab-06	58.78	1.28	만족
Lab-07	59.28	1.38	만족
Lab-10	54.38	0.34	만족

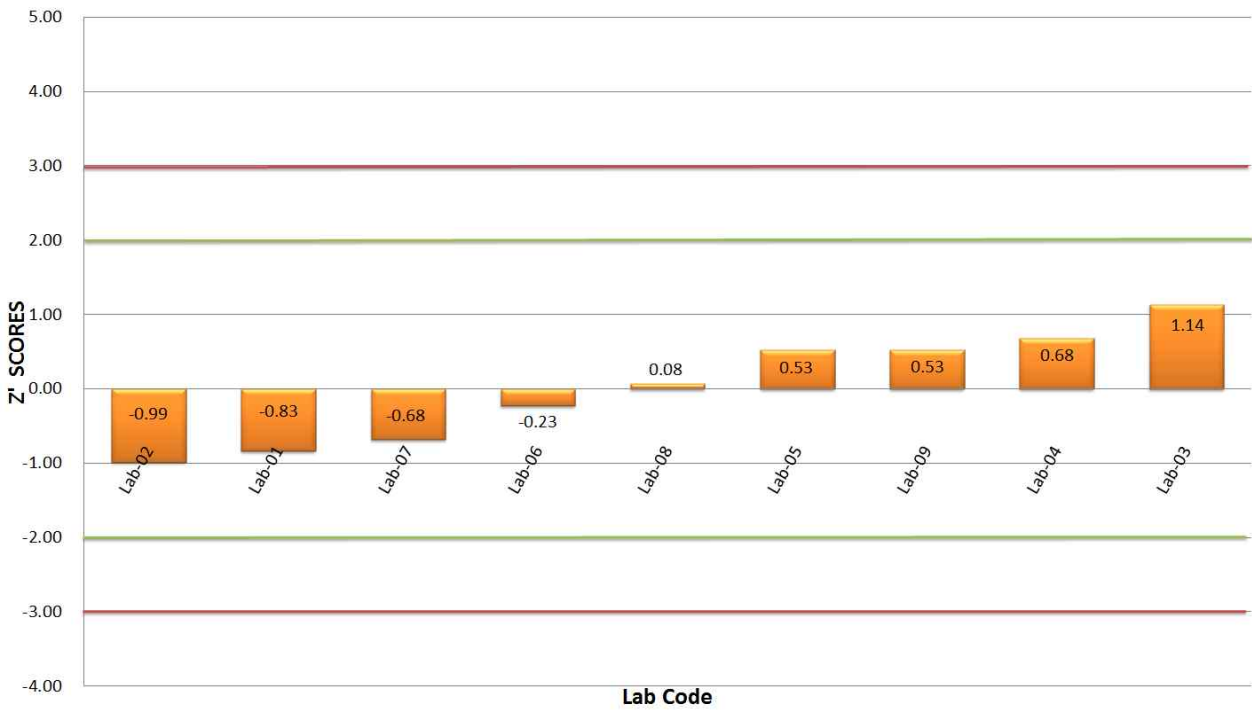
<그림 6> 수행도 평가 그래프 - 입도(0.850 mm)



<표 21> 참가기관별 수행도 평가결과 - 밀도

Lab Code	결과값(g/cm ³)	z' scores	수행도 평가결과
Lab-01	2.637	-0.83	만족
Lab-02	2.636	-0.99	만족
Lab-03	2.650	1.14	만족
Lab-04	2.647	0.68	만족
Lab-05	2.646	0.53	만족
Lab-06	2.641	-0.23	만족
Lab-07	2.638	-0.68	만족
Lab-08	2.643	0.08	만족
Lab-09	2.646	0.53	만족

<그림 7> 수행도 평가 그래프 - 밀도



5. 검토의견

- 숙련도시험 프로그램 운영의 적절성을 확인하기 위해 전문가 자문그룹을 활용하여 자문을 진행하였으며 자문 내용은 아래와 같다.

- ISO 13528과 KS Q ISO 13528이 번갈아 인용되고 있어 일관성 있게 통일 필요
→ KS Q ISO 13528으로 통일시켜 표현함.

- 이외에 표기 및 오타에 관한 의견은 본 최종보고서에 수정 반영하였다.

[별 첨] 로버스트 분석 - Q/Hampel 기법

- KS Q ISO 13528:2015 개정에 따라 로버스트 분석 기법의 하나로 추가된 Q/Hampel 기법은 로버스트 표준편차(s^*)를 Q method, 로버스트 평균(x^*)을 Hampel estimator에 의해 결정한다.
- KS Q ISO 13528:2015에서는 Q/Hampel 기법이 기존 알고리즘A 등의 기법과 비교할 때 다음과 같은 장점을 가지고 있어 적극 사용하도록 권장하고 있다.
 - 결과의 20% 이상이 극단값(outlier)인 경우에도 통계분석 가능
 - 쌍봉(다봉) 분포의 경우 분석의 신뢰도 향상
 - 참가자의 대표값뿐만 아니라 결과값(반복 데이터) 모두 활용 가능
(반복 데이터를 모두 활용함으로써 통계분석을 위한 표본 개수를 늘리는 효과를 가짐)
- 단, KS Q ISO 13528:2015 부속서 C.5.1에서는 Q/Hampel 기법이 복잡하고 많은 전산처리 과정을 요구한다고 밝히고 있다. 이에 따라 부속서 C.5.4에서는 인터넷 상에서 활용 가능한 연산 어플리케이션을 안내하고 있으며 본 스킴에서도 해당 어플리케이션을 사용하였다. (<http://quodata.de/en/web-services/QHampel.html>)

※ 본 스킴에서의 사용 결과

- 입도(0.075 mm)

Q/Hampel method acc. ISO 13528

The method known as Q/Hampel uses the Q method for the calculation of the robust standard deviation s^* together with the Hampel estimator for the calculation of the robust location parameter x^* . The method is applied for the statistical analysis of interlaboratory studies and is described in DIN 38402 A 45 (2014).

How to use: Please paste your data into the text field below, one value per line. You can also copy and paste your data from Excel into the box below.

0.06
0.08
0.09
0.09
0.17
0.22
0.19
0.33
0.07
0.09
0.10
0.20
0.14

Example data

Email address *

lys@kd.re.kr

Mean (Hampel): 0.15266
Standard deviation (Q-Method): 0.075733

– 입도(0.106 mm)

Q/Hampel method acc. ISO 13528

The method known as Q/Hampel uses the Q method for the calculation of the robust standard deviation s^* together with the Hampel estimator for the calculation of the robust location parameter x^* . The method is applied for the statistical analysis of interlaboratory studies and is described in DIN 38402 A 45 (2014).

How to use: Please paste your data into the text field below, one value per line. You can also copy and paste your data from Excel into the box below.

0.23	
0.24	
0.27	
0.35	
0.61	
2.25	
0.23	
0.21	
0.19	
0.21	
0.31	
0.42	
0.67	

Example data

Email address *

lys@kcl.re.kr



Mean (Hampel): 0.27832
Standard deviation (Q-Method): 0.12025

– 입도(0.250 mm)

Q/Hampel method acc. ISO 13528

The method known as Q/Hampel uses the Q method for the calculation of the robust standard deviation s^* together with the Hampel estimator for the calculation of the robust location parameter x^* . The method is applied for the statistical analysis of interlaboratory studies and is described in DIN 38402 A 45 (2014).

How to use: Please paste your data into the text field below, one value per line. You can also copy and paste your data from Excel into the box below.

2.25	
2.86	
3.67	
3.59	
3.73	
4.34	
4.61	
3.25	
2.28	
2.65	
3.73	
3.48	
3.76	

Example data

Email address *

lys@kcl.re.kr



Mean (Hampel): 3.579
Standard deviation (Q-Method): 0.84903

– 입도(0.425 mm)

Q/Hampel method acc. ISO 13528

The method known as Q/Hampel uses the Q method for the calculation of the robust standard deviation s^* together with the Hampel estimator for the calculation of the robust location parameter x^* . The method is applied for the statistical analysis of interlaboratory studies and is described in DIN 38402 A 45 (2014).

How to use: Please paste your data into the text field below, one value per line. You can also copy and paste your data from Excel into the box below.

13.30
12.76
14.96
15.36
15.90
16.64
18.42
19.26
12.18
13.72
15.71
15.32
15.90

Example data

Email address *

lys@kcl.re.kr

 Start calculation

Mean (Hampel): 15.845

Standard deviation (Q-Method): 2.073

– 입도(0.850 mm)

Web service for PT providers

Q/Hampel method acc. ISO 13528

The method known as Q/Hampel uses the Q method for the calculation of the robust standard deviation s^* together with the Hampel estimator for the calculation of the robust location parameter x^* . The method is applied for the statistical analysis of interlaboratory studies and is described in DIN 38402 A 45 (2014).

How to use: Please paste your data into the text field below, one value per line. You can also copy and paste your data from Excel into the box below.

47.50
48.54
49.10
52.62
53.33
53.89
58.64
60.30
46.09
48.50
48.41
53.04
53.53

Example data

Email address *

lys@kcl.re.kr

 Start calculation

Mean (Hampel): 52.797

Standard deviation (Q-Method): 4.2829

– 밀도

Q/Hampel method acc. ISO 13528

The method known as Q/Hampel uses the Q method for the calculation of the robust standard deviation s^* together with the Hampel estimator for the calculation of the robust location parameter x^* . The method is applied for the statistical analysis of interlaboratory studies and is described in DIN 38402 A 45 (2014).

How to use: Please paste your data into the text field below, one value per line. You can also copy and paste your data from Excel into the box below.

2.638
2.636
2.653
2.647
2.645
2.641
2.636
2.643
2.64945
2.636
2.634
2.648
2.648

Example data

Email address *

Mean (Hampel): 2.6425

Standard deviation (Q-Method): 0.0061128

○ Q/Hampel 기법에 의한 로버스트 평균 및 로버스트 표준편차는 다음 장의 계산 과정에 따라 산출된다.

< Q method >

1. 측정결과 보고값을 시험기관별로 묶어 다음과 같이 정리한다.

$$\underbrace{y_{11}, \dots, y_{1n_1}}_{Lab\ 1}, \underbrace{y_{21}, \dots, y_{2n_2}}_{Lab\ 2}, \dots, \underbrace{y_{p1}, \dots, y_{pn_p}}_{Lab\ p}$$

2. 시험기관간 차이의 절대값을 활용하여 누적분포함수 $H_1(x)$ 를 계산한다.

$$2.1 \quad I\{|y_{ik} - y_{jm}| \leq x\} = \begin{cases} 1 & \text{if } |y_{ik} - y_{jm}| \leq x \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$2.2 \quad H_1(x) = \frac{2}{p(p-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq p} \frac{1}{n_i n_j} \sum_{k=1}^{n_i} \sum_{m=1}^{n_j} I\{|y_{ik} - y_{jm}| \leq x\}$$

3. $H_1(x)$ 의 양의 불연속점을 $x_i (i = 1, 2, \dots, r)$ 라 하여 오름차순으로 정리한다.

4. 선형내삽법에 의한 $[0, x_r]$ 구간 내 모든 x 에 대하여 다음과 같이 $G_1(x)$ 를 계산한다.

$$4.1 \quad G_1(x_i) = \begin{cases} 0.5 \cdot (H_1(x_i) + H_1(x_{i-1})) & \text{if } i \geq 2 \\ 0.5 \cdot H_1(x_1) & \text{if } i = 1; x_1 > 0 \end{cases}$$

$$4.2 \quad G_1(0) = 0$$

5. 다음 식으로 로버스트 표준편차 s^* 값을 구한다.

$$s^* = \frac{G_1^{-1}(0.25 + 0.75 \cdot H_1(0))}{\sqrt{2} \Phi^{-1}(0.625 + 0.375 \cdot H_1(0))}$$

($\phi^{-1}(q)$ 는 표준정규분포의 q 번째 사분위수이며, 데이터 집합 내 특정한 결합이 존재하지 않으면 $H_1(0)$ 은 2번의 방정식에 의해 0이 된다.)

< Hampel estimator >

1. 시험기관별 산술 평균을 $y_i (i = 1, 2, \dots, p)$ 로 정리한다.

2. 각 y_i 에 대하여 $d_m (m = 1, 2, \dots, 6 \cdot p)$ 을 구한 후,

오름차순으로 $d_{\{m\}} (d_{\{1\}} \leq d_{\{2\}} \leq \dots \leq d_{\{6 \cdot p\}})$ 을 정리한다.

$$d_m = y_i + k \cdot s^* \quad (k = -4.5; -3; -1.5; 0; 1.5; 3; 4.5)$$

(s^* : Q method에 따른 로버스트 표준편차(위 내용 참조))

3. 다음 조건식에 각 $d_{\{m\}}$ 을 대입하여 $p_m (m=1,2,\dots,(6\cdot p-1))$ 값을 계산한다.

$$3.1 \quad p_m = \sum_{i=1}^p \Psi\left(\frac{y_i - d_{\{m\}}}{s^*}\right)$$

$$3.2 \quad \Psi(q) = \begin{cases} 0 & q \leq -4.5 \\ -4.5 - q & -4.5 < q \leq -3 \\ -1.5 & -3 < q \leq -1.5 \\ q & -1.5 < q \leq 1.5 \\ 1.5 & 1.5 < q \leq 3 \\ 4.5 - q & 3 < q \leq 4.5 \\ 0 & q > 4.5 \end{cases}$$

4. 각 p_m 에 대한 다음 판별식을 이용하여 x_m 값을 계산한다.

$$4.1 \quad p_m = 0 \text{ 이면, } x_m = d_{\{m\}}$$

$$4.2 \quad p_{m+1} = 0 \text{ 이면, } x_m = d_{\{m+1\}}$$

$$4.3 \quad p_m \cdot p_{m+1} < 0 \text{ 이면, } x_m = d_{\{m\}} - \frac{p_m}{\frac{p_{m+1} - p_m}{d_{\{m+1\}} - d_{\{m\}}}}$$

5. x_m 값 가운데 중간값에 가장 가까운 값을 로버스트 평균(x^*)으로 정한다. 만약 중간값에 가장 가까운 값이 없거나 두 개 이상인 경우 중간값을 로버스트 평균(x^*)으로 정한다.