

학생도 교사도 행복한 Eco교실 만들기

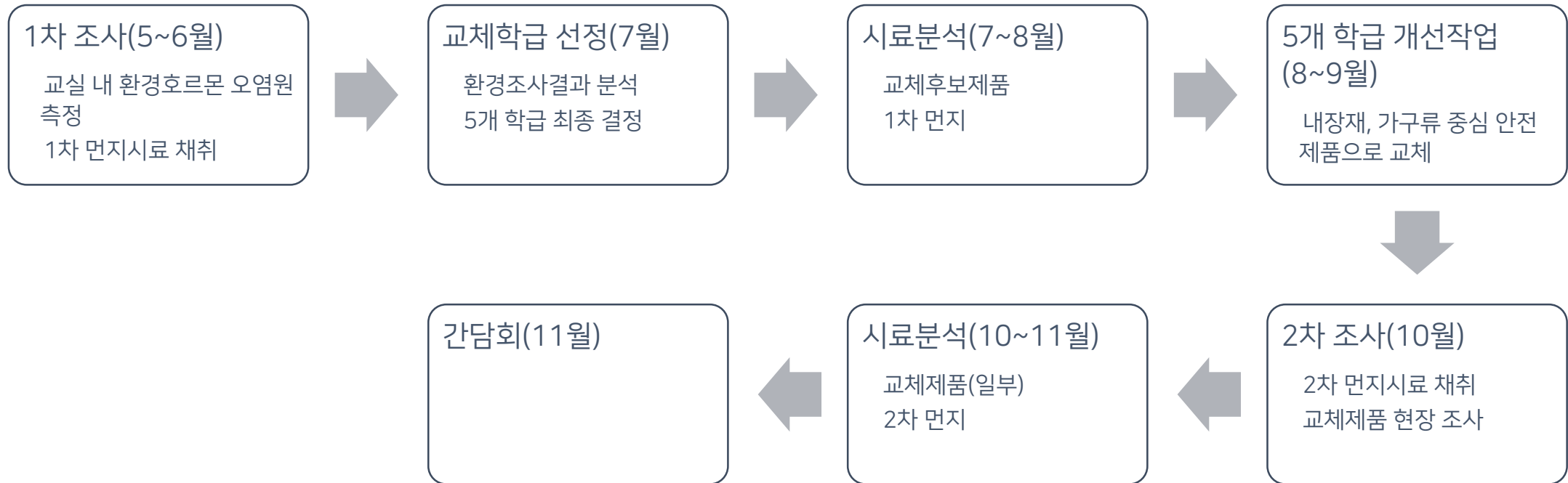
# 초등학교 교육환경 화학안전 현황과 개선사례

최인자

노동환경건강연구소

2022. 11. 15

# 추진과정



# 10개 학교 15개 학급

NO.	교실 ID	건축연도 (리모델링)	면적 (㎡)	학생 (명)	채취날짜 (A)	채취날짜 (B)	교체
1	A-1	2014	63.3	19	05.10	10.06	
2	A-2	2014	63.3	19	05.10	10.06	
3	A-3	2014	63.7	19	05.10	10.06	
4	A-4	2014	63.3	19	05.09	10.06	
5	A-5	2014	63.8	18	05.09	10.06	
6	B	2014	59.8	12	06.22	10.17	0
7	C	2014	30.0		06.08	10.18	0
8	D-1	2021	63.5	17	06.13	10.04	
9	D-2	2021	63.3	17	06.13	10.04	
10	E	2022	86.7	24	06.14	10.05	
11	F	1983			06.16		
12	G	-	65.5	17	06.07	10.11	
13	H	1988	63.7	18	06.10	10.12	0
14	I	2011	67.0	22	06.17	10.13	0
15	J	1985	64.3	23	06.03	10.12	0

# 방법

## 1) 교실내 환경호르몬 측정

휴대용 XRF

Cl(PVC), Br, Pb, Cd

## 2) 제품 분석

Cl, Br, Pb, Cd: 휴대용 XRF screening

프탈레이트 (DiBP, DBP, BBP, DEHP, DINP, DnOP, DIDP)

## 3) 교실먼지 분석

Pb, Cd

프탈레이트 7종 (DiBP, DBP, BBP, DEHP, DINP, DnOP, DIDP)

# 방법

## ① 1차 스크리닝

- 교실환경내 제품에서 직접 측정
- 휴대용 XRF



[그림 1] Portable XRF  
(Innov-X, Olympus, USA)

## ② 프탈레이트

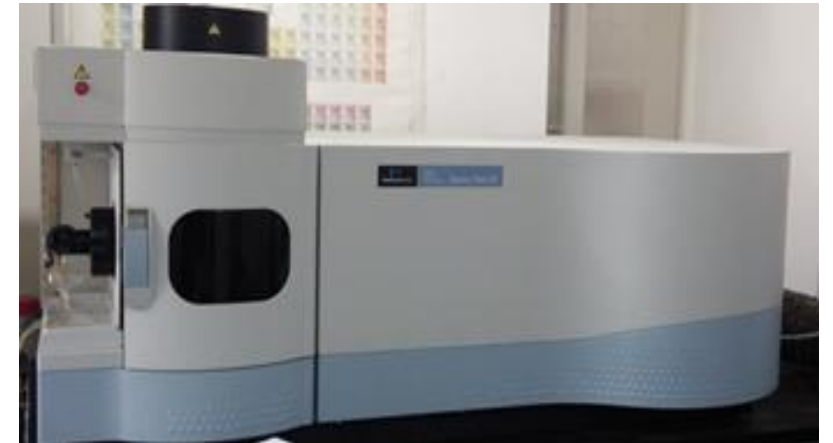
- 제품: 어린이제품 공통안전기준 [부록 3] 프탈레이트계 가소제
- 먼지: Bornehag et al(2004) 참조
- GC/MS SIM mode



[그림 2] GC/MS  
(GCMS-QP2010 Ultra, SHIMADZU, Japan)

## ③ 납, 카드뮴

- EPA Method 3051 참조
- 환경시료 중 납 분석 '국제 정리관리 프로그램 ELPAT' 참여 경험(~2020)



[그림 3] ICP-OES  
(Optima 7300DV, PerkinElmer)

# 분석대상제품

분류	제품군	기존제품	교체후보 제품	교체제품	소계	합계	
						N	%
내장재	바닥재	1		1	2	16	45.7
	블라인드		9		9		
	시트지			5	5		
교구류	게시판	1	7		8	14	40.0
	책상매트	1			1		
	칠판		5		5		
가구류	교사용책상			1	1	1	2.9
기타	손끼임방지대	3		1	4	4	11.4
합계	N	6	21	8	35		
	%	17.1	60.0	22.9			

# 제품/시설 평가방법

## 1) 유해물질 농도에 따른 구분 (unit: ppm)

유해물질	안전	주의	위험
납, Pb	불검출 ~ 40	41~99	100 ≤
카드뮴, Cd	불검출 ~ 40	41~74	75 ≤
염소, Cl	10,000 >	10,000 ≤	
브롬, Br	불검출 ~ 999		1000 ≤

## 2) 유해성지수(Hazard Index)

- PVC 재질 여부 및 중금속 함량을 기준으로 유해성 지수 (Index)를 계산
- 다른 재질 및 제품들과 비교하기 위해 계산된 유해성의 상대적인 값
- HI =

$$\frac{\text{PVC}}{1} + \frac{\text{Br 농도}}{1000} + \frac{\text{Cd 농도}}{75} + \frac{\text{Pb 농도}}{100}$$

# 교체학급 선정기준

1순위



1) PVC 바닥재 +Pb 또는 Cd 함유



2) PVC 바닥재

2순위



학급별 PVC 제품수 +  
Pb(>100ppm) 제품수

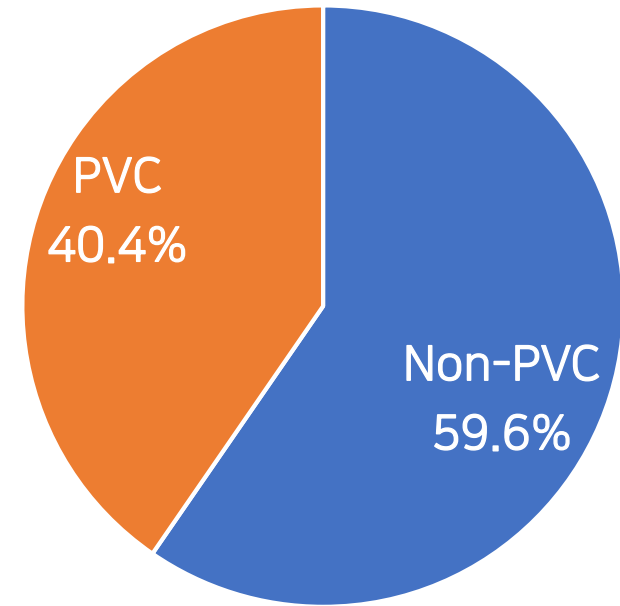
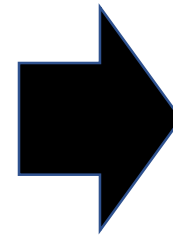
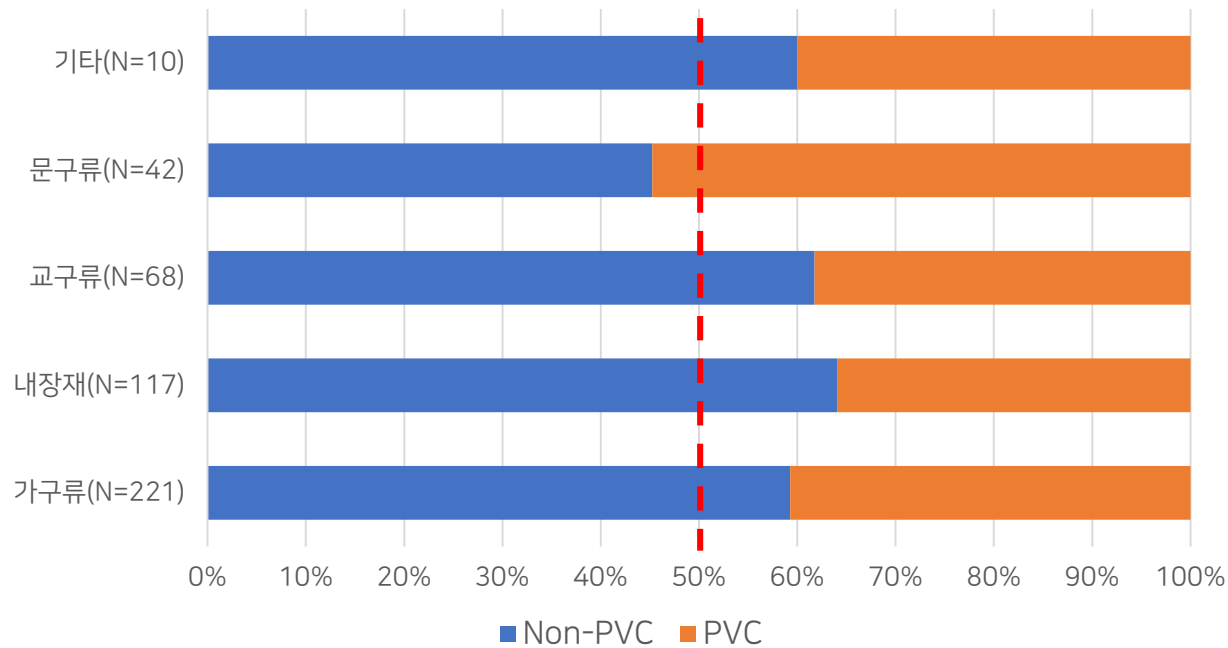


# 1. 교실 내 환경호르몬 조사결과

# 1) 교실내 PVC 제품

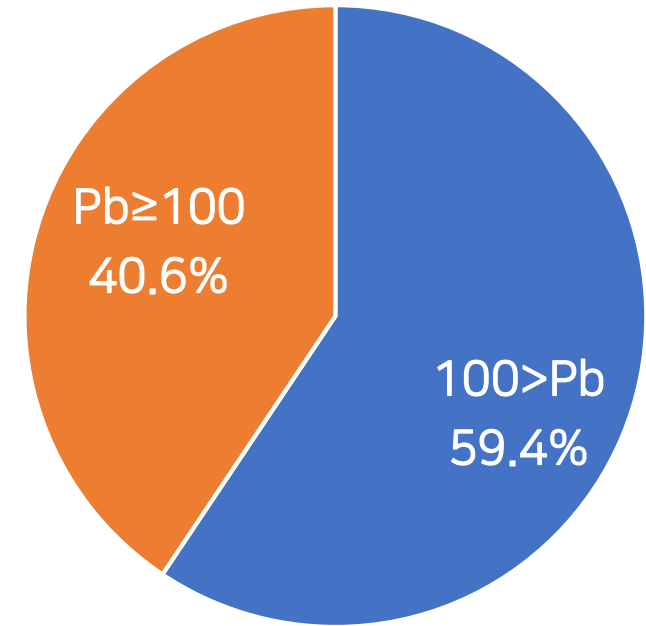
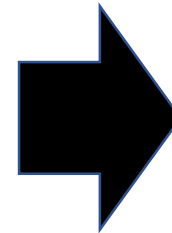
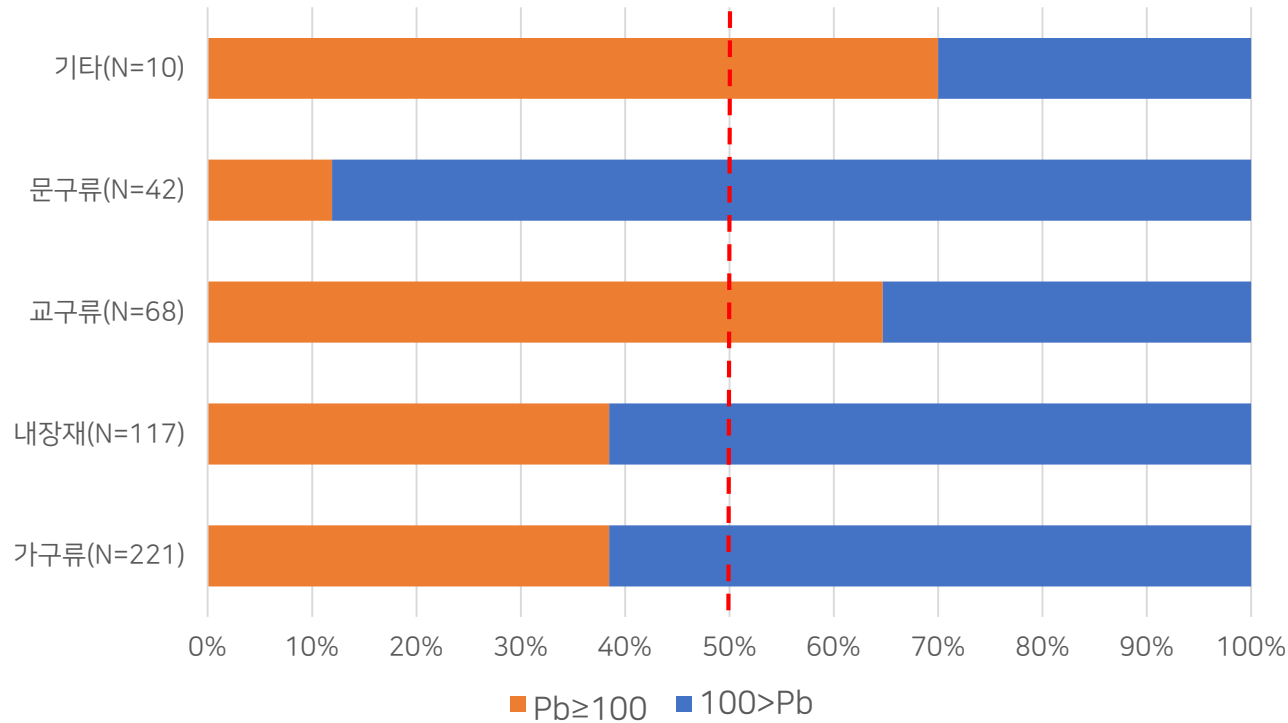
10개 학교 15개 학급에서 총 458개 제품/시설 조사

제품군별 비교



## 2) 교실내 납(Pb) 오염원

10개 학교 15개 학급에서 총 458개 제품/시설 조사



### 3) 교실내 브롬 (Br) 오염원

#### 브롬(Br): 브롬화난연제 지표물질로 활용

제품군	제품명	제품 수	Br (ppm)	소계
가구류	교사 보조 의자	1	4248	4
	교사 서랍장	1	5823	
	책상	1	6452	
	청소도구함	1	1003	
내장재	암막블라인드	14	21800 ~ 100,000 ≤	22
	블라인드	4	4232 ~ 100,000 ≤	
	복도쪽 창문(중창)	1	100,000 ≤	
	창문(창호)	1	100,000 ≤	
	교실 벽	2	1628	

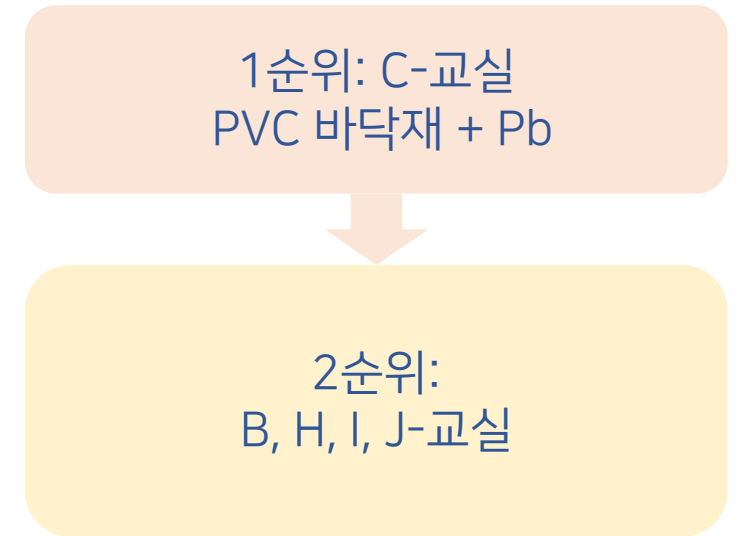
- 브롬화난연제  
(Polybrominated Diphenyl Ethers, PBDEs)
  - 발암성
  - 환경호르몬
  - 잔류성 유기 오염물질
- (Persistent Organic Pollutant, POPs)

## 4) 최종 유해성 결과; 제품군

제품군	빈도	유해성지수(Hazard Index)			합계
		HI < 1	1 ≤ HI < 10	10 ≤ HI	
가구류	개수	115	56	50	221
	%	52.0	25.3	22.6	100.0
내장재	개수	48	33	36	117
	%	41.0	28.2	30.8	100.0
교구류	개수	17	17	34	68
	%	25.0	25.0	50.0	100.0
문구류	개수	17	23	2	42
	%	40.5	54.8	4.8	100.0
기타	개수	3	4	3	10
	%	30.0	40.0	30.0	100.0
합계	개수	200	133	125	458
	%	43.7	29.0	27.3	100.0

# 5) 교체학급 선정

NO.	Class ID	전체제품 (개)	PVC		바닥재	우선 순위	Pb≥100		우선 순위
			개수	%			개수	%	
1	A-1	30	5	16.7			10	33.3	
2	A-2	35	6	17.1			10	28.6	
3	A-3	30	4	13.3			10	33.3	
4	A-4	32	7	21.9			13	40.6	
5	A-5	29	5	17.2			13	44.8	
6	B	32	19	59.4		5	21	65.6	1
7	C	36	13	36.1	PVC	1	1	2.8	
8	D-1	24	12	50.0			5	20.8	
9	D-2	25	13	52.0			6	24.0	
10	E	27	17	63.0		2	15	55.6	3
11	F	25	12	48.0			9	36.0	
12	G	27	13	48.1			14	51.9	
13	H	38	21	55.3		4	20	52.6	4
14	I	36	18	50.0			19	52.8	5
15	J	32	20	62.5		3	20	62.5	2



## 2. 제품 분석결과

기존제품 환경호르몬 분석

교체후보제품 및 교체제품의 안정성 확인

# 1) 내장재-바닥재



PVC 재질  
Pb(납), 174 ppm

'ID:C-교실의 기존 바닥재

표. 프탈레이트 분석결과

	PVC	DEHP		DINP	
		(mg/kg)	(%, Wt)	(mg/kg)	(%, Wt)
교체 전	Y	6533.7	0.65	11798.9	1.18
LOD		28.5		190.3	

DEHP:Di-2-(ethylhexyl) phthalate, DINP: Diisoninyl phthalate, Wt: Weight

## 환경표지인증제품

### 4.8 프탈레이트 함량

합성수지 바닥재 또는 합성수지를 기재로 한 바닥재에 함유된 프탈레이트 함량의 합은 표 6에 적합하여야 한다.

표 6 프탈레이트 함량 기준

CAS 등록번호	항목 물질 명	기준 [질량분율 (%)]		
		일반 제품	유요자원 재활용 제품	
			단일층형	적층형
85-68-7	butyl benzyl phthalate(BBP)	0.1 이하	0.1 이하	상부층: 0.1 이하 하부층: 3.0 이하
117-81-7	di-(2-ethylhexyl) phthalate(DEHP)			
84-74-2	di-butyl phthalate(DBP)			
26761-40-0, 68515-49-1	di-isodecyl phthalate(DIDP)			
28553-12-0, 68515-48-0	di-isononyl phtalate(DINP)			
117-84-0	di-n-octyl phthalate(DNOP)			
84-69-5	di-iso-butyl phthalate(DIBP)			
비고 상부층은 표면코팅층, 투명필름층, 인쇄층 및 유리섬유 함침층까지이며, 발포층 또는 기재층 아래의 층인 하부층과는 구별된다.				



# 1) 내장재-블라인드

## 10개 제품 중 4개 제품은 '위험'

교실 ID	Br, 브롬 (ppm)	Pb, 납 (ppm)
B	191	
C	192	
D-1		
D-2		
E	64	
F		
G	56,100	229
H	100,000	1,053
J	100,000	831
L	4,232	

## 표. 교체후보제품 중 '안전' 제품 확인

구분	No.	제품	PVC (Y/N)	Br,브롬 (ppm)	Pb,납 (ppm)	Phthalate	평가
교체 후보	1	블라인드(롤스크린)	N	11800	52		위험
	2	블라인드(롤스크린)	N	10			안전
	3	블라인드(롤스크린)	Y			7종, ND	안전
	4	블라인드(롤스크린)	N	7130	36		위험
	5	블라인드(롤스크린)	N				안전
	6	블라인드(롤스크린)	N	9160	46		위험
	7	블라인드(롤스크린)	N	13500	60		위험
	8	블라인드(롤스크린)	N				안전
	9	블라인드(롤스크린)	N	10			안전

# 1) 내장재-시트지

환경표지인증제품: 납, 카드뮴 그리고 프탈레이트 모두 불검출

(Unit:mg/kg)

구분	교실 ID	용도	PVC (Y/N)	Pb,납 (ppm)	Cd,카드뮴 (ppm)	DiBP	DBP	BBP	DEHP	DnOP	DINP	DIDP
교체 제품	B	사물함 시트지	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B	창호 시트지	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	C	창호 시트지	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	J	창호 시트지	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	I	교실문 시트지	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		LOD				36.6	29.5	30.9	28.5	36.2	190.3	152.8

DiBP: Di-isobutyl phthalate, DBP: Dibutyl phthalate, BBP: Butyl benzyl phthalate, DEHP:Di-2-(ethyl hexyl) phthalate, DnOP: Di-n-octyl phthalate, DINP: Diisoninyl phthalate, DIDP: Di-isodecyl phthalate, ND: 검출한계 미만, LOD: Limit of detection

## 2) 교구류-게시판

구분	제품	유형/측정위치	PVC (Y/N)	Pb (ppm)	DiBP	DBP	BBP	DEHP		DnOP	DINP		DIDP		평가	
					mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%(Wt)	mg/kg	mg/kg	%(Wt)	mg/kg	%(Wt)		
기존	게시판	칠판 보조게시판	Y	ND	632.0	788.5	ND	199425.4	19.94	ND	ND	ND	31433.7	3.14	위험	
교체 후보	게시판	골덴게시판	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	80712.8	8.07	ND	ND	위험	
	게시판	자석패브릭게시판	Alloy	ND											안전	
	게시판	하이그린게시판	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	74535.6	7.45	ND	ND	위험	
	게시판	마그핀게시판	N	ND											안전	
	게시판	엠보시트게시판	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	91315.6	9.13	ND	ND	위험	
	게시판	엠보시트게시판	Alloy	1,465											위험	
	게시판	환경 정리판 용게시판	N	ND											안전	
	게시판	게시판	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	90870.7	9.09	ND	ND	위험	
			LOD			36.6	29.5	30.9	28.5		36.2	190.3			152.8	

DiBP: Di-isobutyl phthalate, DBP: Dibutyl phthalate, BBP: Butyl benzyl phthalate, DEHP: Di-2-(ethyl hexyl) phthalate, DnOP: Di-n-octyl phthalate, DINP: Diisoninyl phthalate, DIDP: Di-isodecyl phthalate, ND: 검출한계 미만, LOD: Limit of detection, Wt: Weight

PVC,  
 $\Sigma$ Phthalate, 23.2%



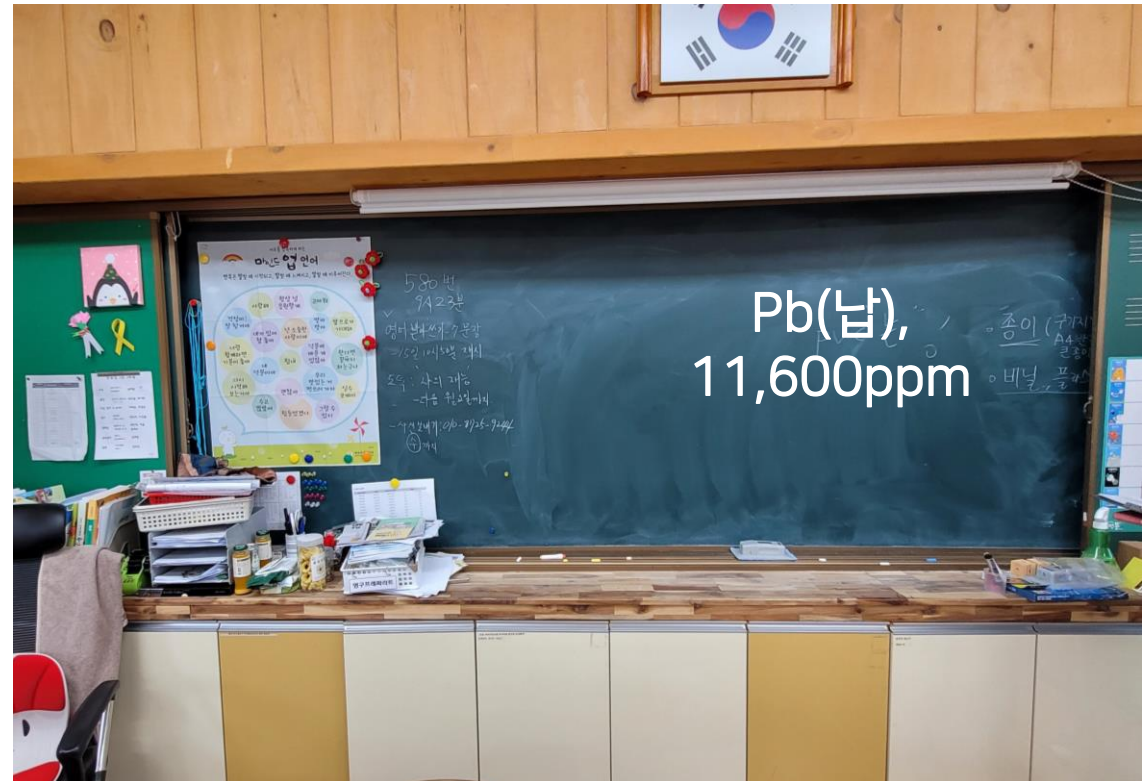
Non-PVC  
불검출



## 2) 교구류-칠판

### 칠판 고농도의 납 함유

제품명	PVC		Non-PVC	
	N	Pb (평균)	N	Pb, (평균)
칠판	6	2,964	5	30,100
칠판-보조(모눈)	1		1	27,900
칠판-보조(블랙보드)			1	
칠판-보조(오선지)			7	29,338
칠판-보조(원고지)			2	13,483
칠판-보조(지도)			9	32,586
칠판-보조(화이트보드)			3	
칠판-화이트보드			4	
합계	7		32	



## 2) 가구류-칠판

(Unit: mg/kg)

구분	유형/측정위치	PVC (Y/N)	Pb (ppm)	DiBP	DBP	BBP	DEHP	DnOP	DINP	DIDP
교체 후보	곡면물칠판/ 판면시트부착형	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	시트부착형/ 물칠판	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	시트부착형/ 습식분필	N	ND							
	시트부착형/ 물칠판/건식분필	Y	ND	ND	ND	ND	134.2	ND	ND	ND
	시트지부착형/ 물칠판	Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	LOD				36.6	29.5	30.9	28.5	36.2	190.3

DiBP: Di-isobutyl phthalate, DBP: Dibutyl phthalate, BBP: Butyl benzyl phthalate, DEHP:Di-2-(ethylhexyl) phthalate, DnOP: Di-n-octyl phthalate, DINP: Diisoninyl phthalate, DIDP: Di-isodecyl phthalate, ND: 검출한계 미만, LOD: Limit of detection



납 오염원  
제거

### 3) 기타-손끼임방지대

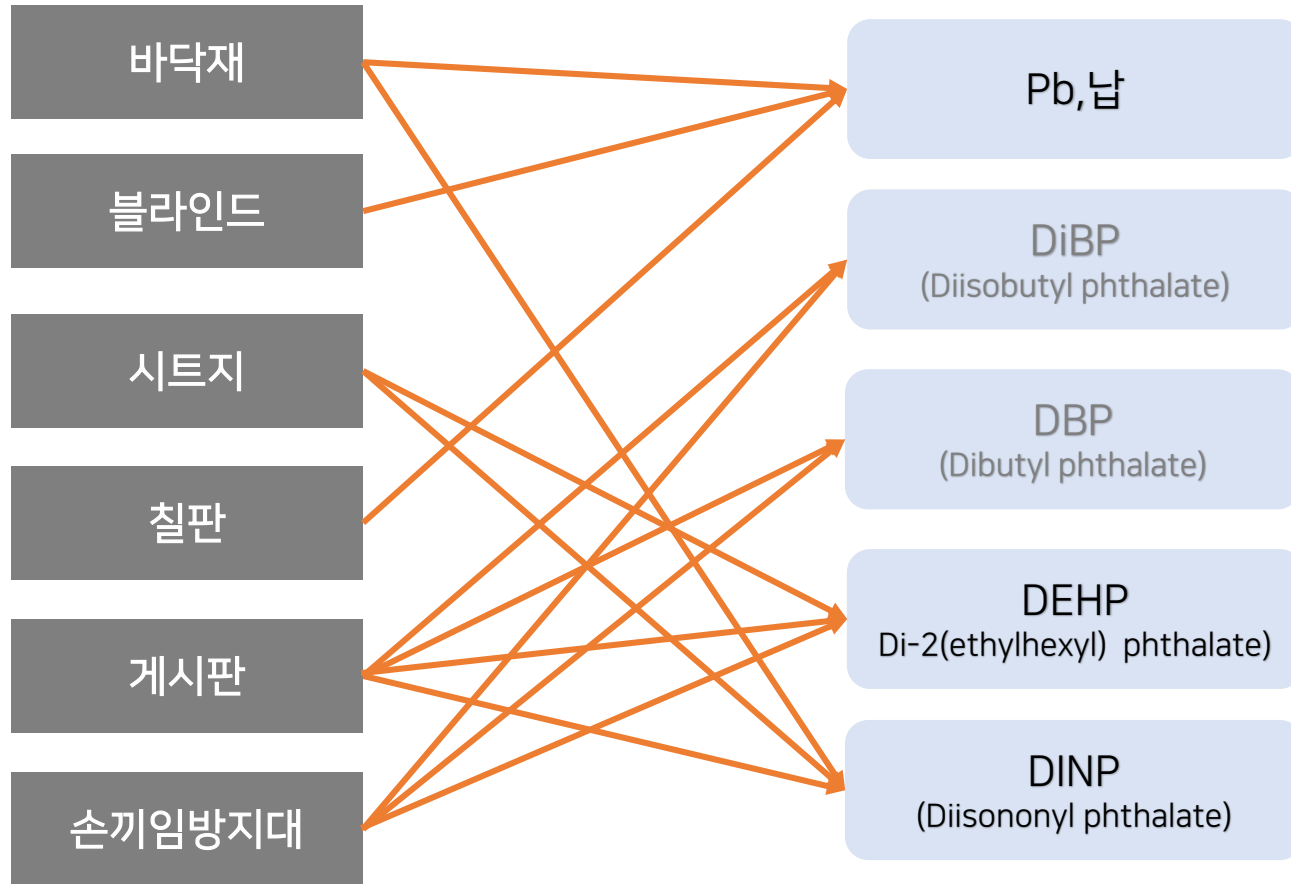
(Unit: mg/kg)

구분	교실ID	제품/위치	PVC (Y/N)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	DiBP	DBP	BBP	DEHP		DnOP	DINP	DIDP
									(mg/kg)	(%, Wt)			
기존	H	교실문 손끼임방지대	Y	4,524		19.1	ND	ND	336013.2	33.60	ND	ND	ND
	J	교실문 손끼임방지대	Y	5,931	447	489.4	137.6	ND	349425.1	34.94	ND	ND	ND
	I	교실문 손끼임방지대	Y	4,530		89.6	159.6	ND	354812.4	35.48	ND	ND	ND
교체		교실문 손끼임방지대	Y			ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		LOD				36.6	29.5	30.9	28.5		36.2	190.3	152.8

DiBP: Di-isobutyl phthalate, DBP: Dibutyl phthalate, BBP: Butyl benzyl phthalate, DEHP: Di-2-(ethyl hexyl) phthalate, DnOP: Di-n-octyl phthalate, DINP: Diisoninyl phthalate, DIDP: Di-isodecyl phthalate, ND: 검출한계 미만, LOD: Limit of detection, Wt: Weight

- 제품 교체로 납과 프탈레이트(DiBP, DBP 및 DEHP) 오염원 제거

# 교실환경 중 납과 프탈레이트 오염원





# 3. 개선결과

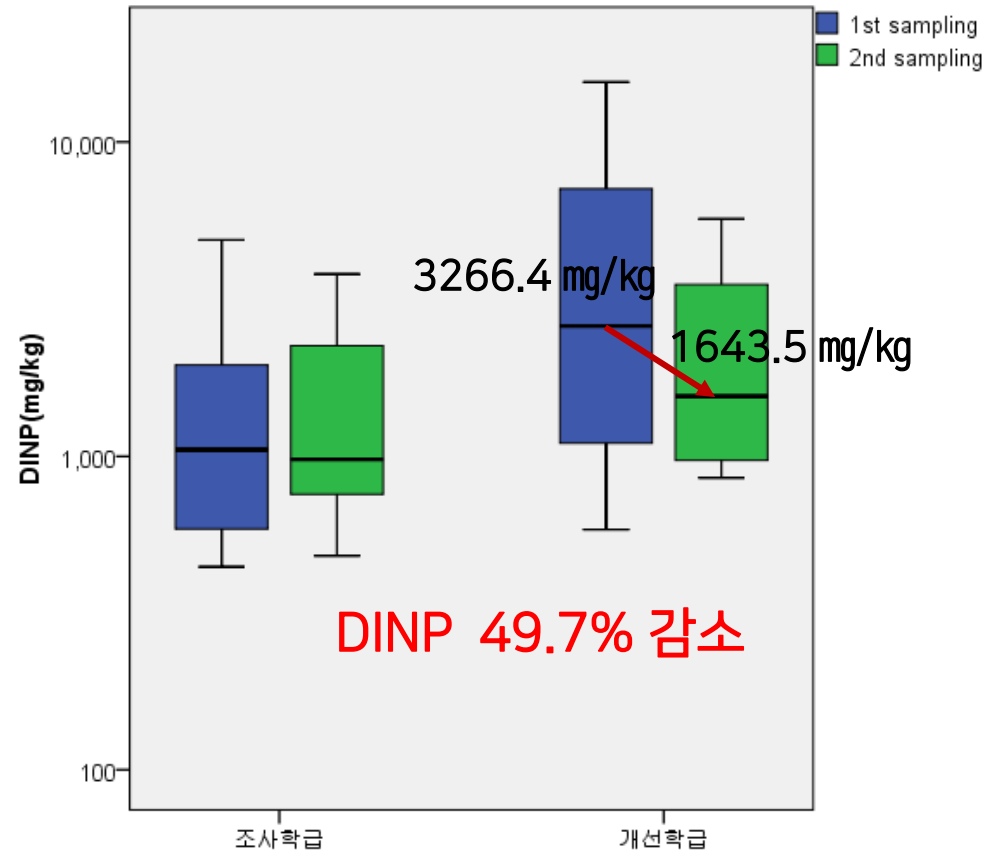
교실 실내먼지 중 프탈레이트 및 납 농도 비교, 개선효과를 평가

# 1) 실내먼지 중 프탈레이트 농도

개선학급 실내먼지 중 DEHP, DINP 농도 (Unit: mg/kg)

교실 ID	DEHP		DINP		교체 제품
	1차	2차	1차	2차	
B	1227.2	4988.3	3758.7	1105.9	교실문, 사물함시트지, 창호시트지,
H	1168.4	681.6	914.2	5690.7	사물함, 책장, 게시판, 교사보조책상 등 가구류, 손끼임 방지대
I	1573.1	3033.2	2774.1	2181.1	사물함, 책장, 교사서랍장, 교실문 등
J	4597.5	438.6	18928.8	855.3	창호시트지, 게시판, 사물함, 책장, 교실문 등

DEHP:Di-2-(ethyl hexyl) phthalate, DINP: Diisoninyl phthalate,

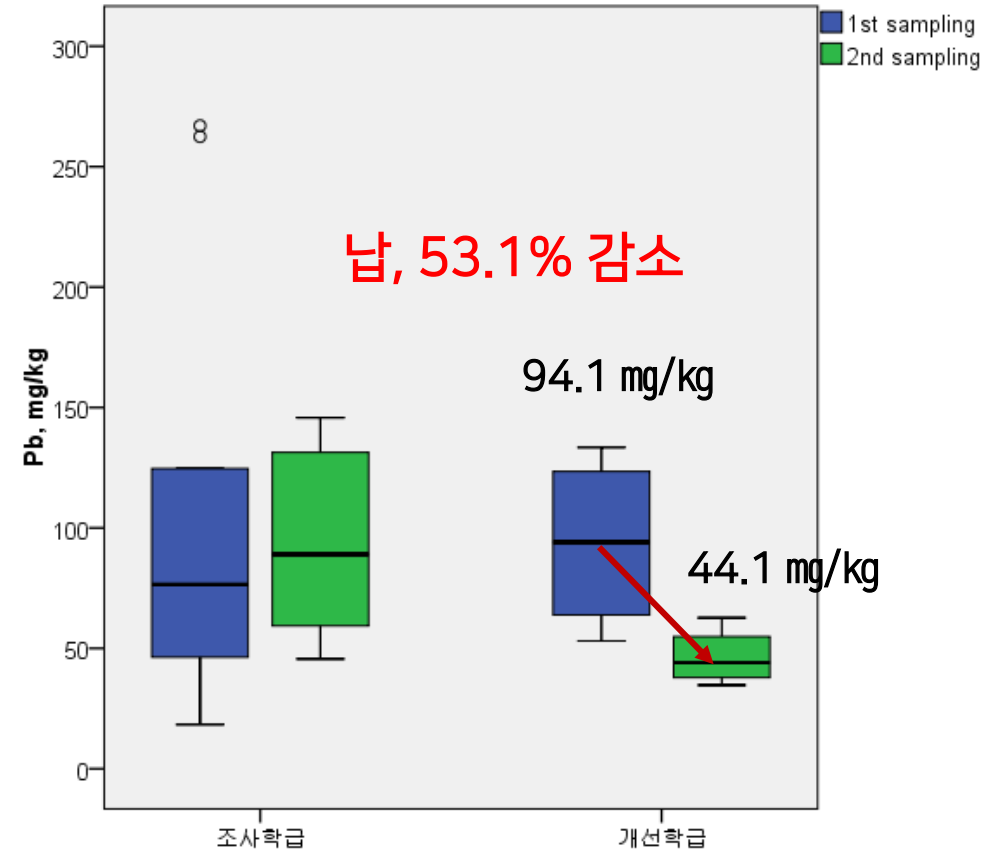


## 2) 실내먼지 중 납 농도

교실 실내먼지 카드뮴, 납 농도 비교

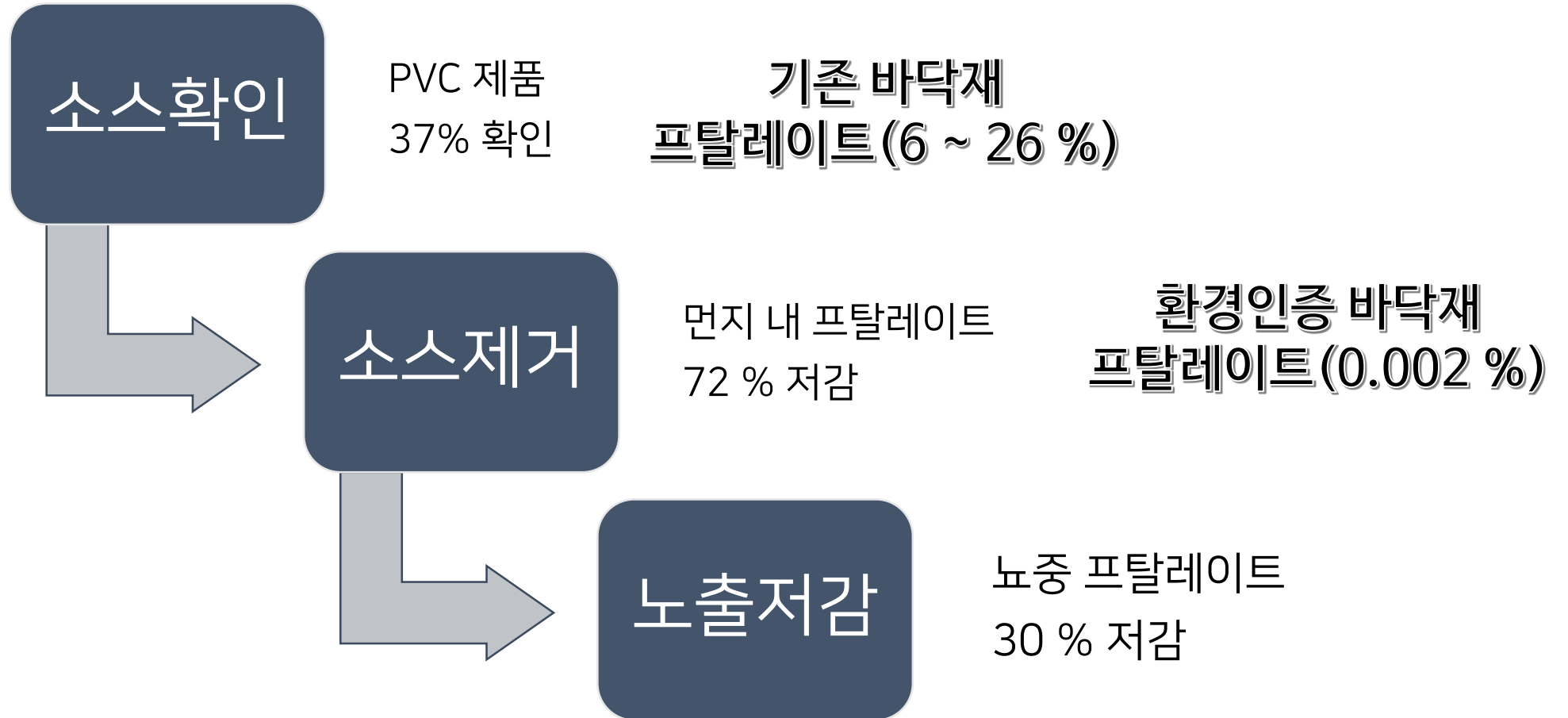
(Unit: mg/kg)

교실 ID	Cd		Pb		교체제품
	1차	2차	1차	2차	
B	2.8	2.4	113.6	62.7	교실문, 사물함시트지, 창호시트지,
H	2.2	1.3	133.4	41.1	사물함, 책장, 게시판, 교사보조책상 등 가구류, 손끼임 방지대
I	2.5	2.6	74.6	34.7	사물함, 책장, 교사서랍장, 교실문 등
J	2.0	1.6	53.1	47.0	창호시트지, 게시판, 사물함, 책장, 교실문 등



## 4. 맺음말

# 환경호르몬 없는 아동 친화환경 만들기(2021)



환경보건법 시행령  
일부 개정령안

# 강화된 어린이 활동공간 관리 제도의 내용

환경보건법 시행령  
일부 개정령(안) 입법예고  
(2021.03)

부 칙

... 어린이 건강보호를 위해 어린이활동공간에 적용하고 있는 중금속 납 관리 (검출)기준을 0.06퍼센트에서 0.009퍼센트로 강화하는 한편, 내분비계장애 물질로 알려진 프탈레이트류(7종)를 합성수지 및 고무 재질 바닥재의 관리물질로 새로이 지정하고 ...

... 별표 2 제2호가목1)부터 3)까지 외의 부분 중 “함유된”을 “들어있는”으로 하고, 같은 목 2) 중 “0.06퍼센트”를 “0.009퍼센트”로 하며, 같은 목에 3)을 다음과 같이 신설한다.

3) 실내의 활동공간에 사용되는 합성수지 재질의 바닥재(표면재료)에 들어있는 프탈레이트가소제[DEHP(Di-2-ethylhexyl phthalate), DBP(Dibutyl phthalate), BBP(Butyl benzyl phthalate), DINP(Diisononyl phthalate), DIDP(Diisodecyl phthalate), DnOP(Di-n-octyl phthalate, DIBP(Diisobutyl phthalate)를 말한다. 이하 같다] 총 함유량은 0.1 퍼센트 이하일 것

제1조(시행일) 이 영은 2021년 7월 6일부터 시행한다. 다만 제16조 및 별표 2의 개정규정은 공포 후 9개월이 경과한 날부터 시행한다.

제2조(어린이활동공간에 대한 환경안전관리기준에 관한 특례) 제1조 단서에도 불구하고 이 영 시행전에 설치된 어린이활동공간에 대하여는 2026년 1월 1일부터 제16조 및 별표 2의 개정규정을 적용한다.

# 결론

- 1) 교실내 환경호르몬(프탈레이트와 납)의 주요 오염원을 확인하고, 안전한 제품으로 교체하여 노출원 저감의 가능성을 확인하였음.
  - 개선 후에 먼지 중 납 농도는 53.1% 감소, DINP는 49.7% 감소하였음. DEHP 농도는 일부 교실에서만 감소하였음
  - 프탈레이트는 내장재 및 다양한 제품에 사용되고 있어 오염원을 제거하기에 아직은 한계가 있음.
- 2) 교실환경 개선시 '환경표지인증제품'과 '어린이제품안전특별법 유해물질공통안전기준'을 이용하는데는 한계가 있음. 인증제품군과 관리제품군의 확대 필요성 있음.
- 3) 2022년부터 강화된 어린이 활동공간관리 제도는 어린이와 교사의 건강한 활동공간을 위한 예방적인 조치이며, 이번 조사는 관리제도의 필요성과 그 효과를 확인한 파일럿 조사의 의의가 있음.

감사합니다.