
폴리우레탄 콘크리트 판넬의 특성 및 바닥재로의 이용에 관한 연구

A Study on the Properties of Polyurethane Concrete Panel
and Use for a Flooring Material



조영국*

Jo, Yong Kuk



강재홍**

Kang, Jae Hong



소양섭***

Sho, Yang Seob

ABSTRACT

This study was performed to verify the possibility of using polyurethane concrete panels for a flooring material. For this purpose, the polyurethane concretes were prepared with various mix proportions, and tested for working life, slump-flow, volume change, compressive and flexural strengths, water absorption and thermal conductivity. In addition, floor impact sound test was conducted at apartment floor constructed actually with polyurethane concrete panels.

From the test results, the capacity of noise insulation of new floor system recommended in this study was better than that of the conventional floor system. The outstanding advantages of using polyurethane concrete panels compared with the conventional floor system are shortening of construction progress, insulation of heat and noise. The polyurethane concrete panels can potentially be used as a noise insulation material if proper mix proportions for the suitable balance between cost and performance are selected.

Keywords : polyurethane concrete, flooring materials, water absorption, floor impact sound test

* 정희원, 충남산업대학교 건축공학과

** 정희원, 전북대학교 건축공학과

*** 정희원, 전북대학교 건축공학과

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 4월 30일까지 학회로 보내주
시면 1998년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

(Methyl Chloride : MC)를 우레탄수지 중량에 대하여 일정비율로 첨가하였다.

2.5 골재

굵은골재로는 쇄석(5~10mm)을, 잔골재는 강모래(0.5~5mm)를 사용하였다. 모든골재는 사용전 105±5℃ 건조로에서 48시간 이상 건조시킨후 함유율이 0.1% 이하가 되도록 절건시켜 사용하였다.

3. 실험방법

3.1 공시체의 제작

폴리우레탄 콘크리트는 KS F 2484(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체의 제작 방법)에 준하여 제작하였으며, 휨강도용 공시체는 10x10x40cm, 압축강도는 휨강도 시험후의 절편을 사용하였다. 또한 열전도율 시험 공시체는 50x50cm, 두께 3, 4, 5 및 6cm로 제작하였으며, 바닥충격음시험은 50x50cm, 두께 50cm로 제작하였다. 제작된 공시체는 기중양생(20℃, 50% R.H.)을 3일간 실시한 후 각종시험을 실시하였다.

3.2 사용가능시간

폴리우레탄 콘크리트의 사용가능 시간은 KS F 2484(폴리에스테르 레진 콘크리트의 사용가능시간 측정방법)에 제시된 방법중 감촉법을 이용하여 Table 4와 같이 촉매의 양을 변화시켜 사용가능시간을 측정하였다. 이때 폴리우레탄 수지는 전체중량의 15%로 하였으며, 세골재율을 30%로 고정하였다. 또한 본 연구에서의 각 배합표에서의 배합비율은 폴리올(Polyol) 중량을 기준으로하여 설계한 것이다.

Table 4 Mix proportions of PUR concrete for working life test

Type	Formulation by weight							
	Binder					Coarse aggregate(mm)	Fine aggregate(mm)	
	Polyol	H ₂ O	Surfactant	MDI	Catalyst			
A	100	2	1	17.2	0.1	870	373	
B								0.2
C								0.3
D								0.4
E								0.5

3.3 슬럼프-흐름

사용가능시간 시험 결과로부터 촉매의 양을 0.1g인 Table 4의 A 배합으로 물리적인 발포로서 시공성을 높이기 위해 MC의 양을 결합재량의 1%(2.19g), 3%(6.58g), 5%(10.96g) 및 10%(21.90g)로 변화시켜 폴리우레탄 콘크리트를 제작하였다. 굳지않은 폴리우레탄 콘크리트에 대하여 KS F 2474(폴리머 시멘트 모르타르의 슬럼프 시험방법)에 준하여 슬럼프 시험을 한 후 일본토목학회의 「콘크리트의 슬럼프-흐름 시험방법」에 따라 폴리우레탄 콘크리트의 평균지름을 슬럼프-흐름값으로 측정하였다.

3.4 체적변화

폴리우레탄 콘크리트의 발포에 의한 체적변화는 경제성에 아주 중요한 요소이다. 상술한 사용가능시간 및 슬럼프-플로우 시험결과 이상적인 촉매량 및 MC량을 결정하여 Table 5에 나타난 골재의 혼입량을 변화시켜 폴리우레탄 콘크리트의 체적변화를 측정하였다. 체적변화는 아직 굳지 않은 콘크리트의 타설시의 부피에 대한 경화후 체적비로서 산정하였다.

Table 5 Mix proportions of PUR concrete for volume change

Type	Formulation by weight									
	Binder						Aggregate(mm)			
	Polyol	H ₂ O	Surfactant	MDI	Catalyst	MC	5~10	2.5~5	1.2~2.5	0.5~1.2
A	100	2	1	17.2	0.1	2.19	870	373	-	-
B							435	186	-	-
C							435	-	186	-
D							435	-	-	186

3.5 압축강도 및 휨강도

Table 5의 배합에 대해 폴리우레탄 콘크리트의 압축 및 휨강도는 KS F 2481 및 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트 압축강도 및 휨 강도 시험방법)에 준하여 실시하였다. 특히 압축강도는 공시체가 하중을 받아 압축되어 두께가 줄어드는데 공시체의 두께가 하중전 두께의 10%까지 압축될때의 강도로 하였다.

3.6 흡수율

Table 5의 배합에 대해 폴리우레탄 콘크리트의 흡

수율 시험은 KS F 2459(기포콘크리트의 겉보기 비중·함수율·흡수율 및 압축강도 시험방법)에 준하여 48시간 동안 침수시켜 절건상태의 중량에 대한 백분율로 나타내었다.

3.7 열전도율

Table 5의 Type B의 배합으로 폴리우레탄 콘크리트 판넬을 50x50cm, 두께 3, 4, 5 및 6cm 크기로 제작하여 열전도율 시험을 KS M 2265(보온재의 열전도율 측정방법, 평판직접법)에 준하여 실시하였다.

3.8 바닥충격음

Table 5의 Type B 배합으로 폴리우레탄 콘크리트 판넬을 50x50x5cm 크기로 제작하여 D회사 신축 아파트 건물의 5mx5m의 실내에 Fig.2의 (B)와 같이 직접 시공하여, KS F 2801(건축물 현장에 있어서의 바닥충격음 측정방법)에 따라 바닥충격음 시험을 실시하였다. 측정주파수는 63Hz~4,000Hz로 하였으며 음원실과 수음실은 공기진파음이 적도록 밀폐시켰다. 또한 음원의 위치는 둘레의 벽에서 50cm 떨어진 곳으로 보통의 위치를 피하였으며 마이크로폰은 바로 아래층 바닥위 1.2m 위치에 설치 하였고

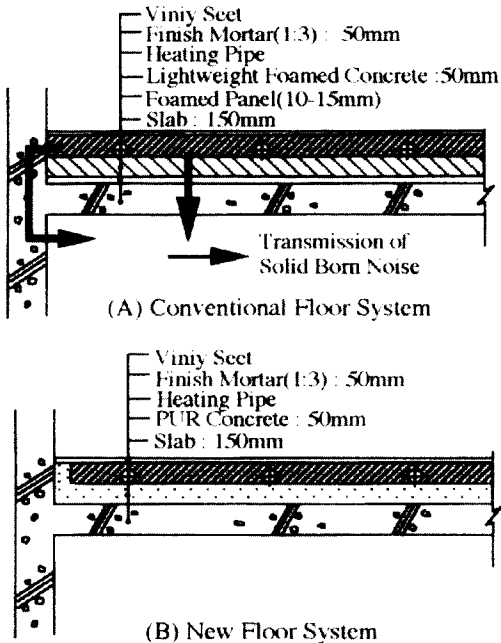


Fig. 2 Conventional and new floor systems

측정전에는 주위의 암소음에 대한 영향을 배제하였다. 바닥충격음 레벨을 측정하기 위한 측정기기의 구성은 Fig.3과 같으며 측정에 사용한 경량충격원은 태핑머신(Tapping Machine, B&K, Type 3204)이며 중량충격원은 타이어(5.20-10-4PR, 공기압: $1.5 \pm 0.1 \times 10^5 \text{Pa}$)로 높이 $90 \pm 10 \text{cm}$ 에서 자유낙하시켰다.

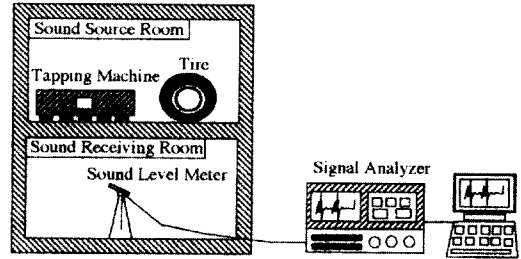


Fig. 3 Floor impact sound test apparatus

4. 실험결과 및 고찰

4.1 사용가능시간

사용가능시간은 발포 폴리우레탄 콘크리트를 제조하는 경우 가장 중요한 요소라 할 수 있다. 사용가능시간은 촉매의 양과 제조시의 환경, 특히 온도에 의한 영향을 많이 받는데 현장작업이나 기성제품화 할 경우 중요한 변수가 된다. 촉매량에 따른 사용가능시간은 Fig.4와 같이 촉매의 양이 많아질수록 단축됨을 알 수 있다. 이는 Fig.5와 같이 최고온도 약 52℃까지의 경과시간이 각각 35, 25, 20, 15 및 15분으로 촉매의 양이 많아질수록 반응이 촉진되므로 공시체

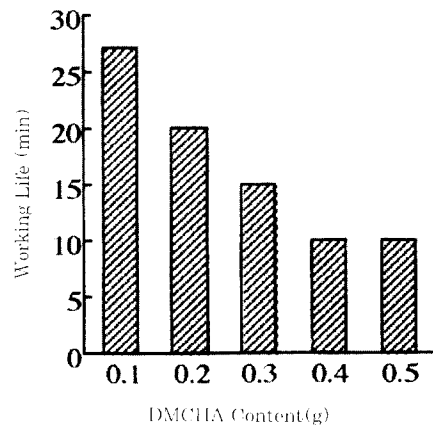


Fig. 4 Working life of PUR concretes

온도가 급상승해 시공 가능시간이 짧아진 것임을 알 수 있다. 또한 예비시험에서 골재를 함유하지 않은 폴리우레탄 수지 자체의 온도는 최고 70℃까지 상승하였는데 도달시간이 25, 20, 15, 10 및 10분인 것과 비교하면 골재의 혼입이 수지의 온도상승을 억제해 시공가능시간의 확보를 용이하게 함을 알 수 있다. 결국 촉매량을 통한 폴리우레탄 콘크리트의 사용 가능시간은 조절할 수 있었으며 본 실험결과 촉매의 양을 0.1% 정도로 해야 적절한 시공성을 확보하며 경제성 면에서 유리한 것으로 판단되었다.

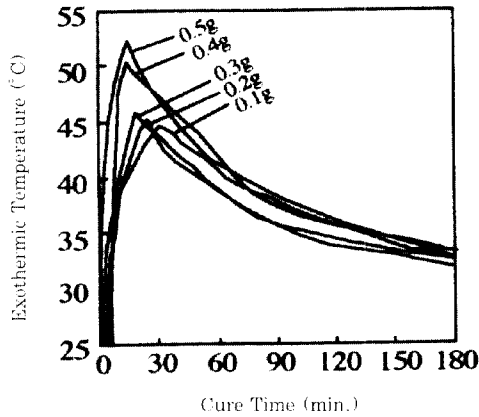


Fig. 5 Relationship between exothermic temperature and cure time

4.2 슬럼프-흐름

MC은 폴리우레탄 수지의 점도를 낮춰 시공성을 좋게하며 물리적 발포제의 용도로 사용된다. Fig.6 에는 폴리우레탄 콘크리트의 MC 첨가량과 슬럼프-흐름과의 관계를 나타내고 있다. MC의 양을 폴리우레탄 수지의 중량에 대해 1, 3, 5 및 10%로 변화시키에 따라 슬럼프-흐름값이 22, 23, 25, 33cm로 증가하여 첨가량의 증가에 따라 시공성이 향상됨을 알 수 있었으나 첨가량이 많으면 폴리우레탄 콘크리트 판넬의 표면상태가 좋지 못하며 표면경도도 저하됨을 알 수 있었다. 이것은 MC가 폴리우레탄 수지의 가교결합을 이완시켜 반응성이 경감되었기 때문으로 사료된다. 결과적으로 시공성, 콘크리트 판넬의 마감상태 및 경제성으로 볼 때, MC량이 수지의 첨가 중량으로 1%가 적당한 것으로 판단된다.

4.3 체적변화

골재를 혼입하지 않은 폴리우레탄 수지만의 발포에 의한 체적변화는 발포전에 비해 약 13~16배인데 반해, Fig.7에서 알 수 있는 바와 같이 골재의 양과 잔 골재의 입도가 다른 배합 A, B, C 및 D타입의 경우, 각각 3, 5, 6 및 7배로 나타났으며 골재 크기가 큰 배합일수록 발포에 의한 체적변화가 적었다. 또한 골재 입자가 작을수록 폴리우레탄 콘크리트 판넬 내부에서 골재의 분포상태가 좋지 않았으며, 굵은골재의 양이 증가하면 분포상태는 개선되나 발포성능이 저하하였다. 이러한 결과는 수지의 발포에 의한 체적팽창시 골재가 얼마만큼 발포를 구속하는가에 좌우됨을 알 수 있었다. 이 결과로서 폴리우레탄 콘크리트의 발포에 의한 체적변화를 골재로서 조절할 수 있어 성능과 경제성 면에서 적합한 배합을 도출할 수 있었다. 즉, 경제성면에서는 발포량이 큰 6, 7배의 배합이 유리하나, 폴리우레탄 콘크리트 판넬의 표면상태 및 정도,

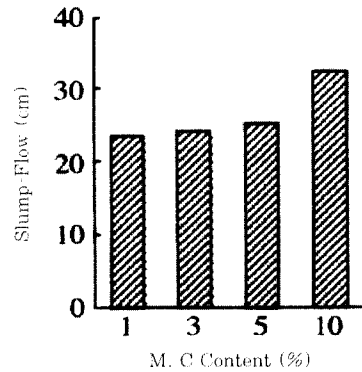


Fig. 6 Slump-flow of PUR concretes

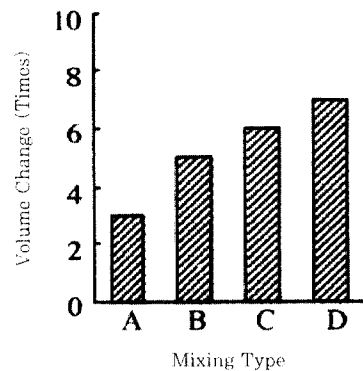


Fig. 7 Volume change of PUR concretes

판넬 내부에서의 골재의 분포상태등을 고려할 때, 바닥 판넬로서 사용을 위해서는 5배 정도의 체적변화를 얻을 수 있는 배합이 적당한 것으로 평가되었다.

4.4 압축강도 및 휨강도

Table 6은 폴리우레탄 콘크리트의 배합에 따른 압축강도, 휨강도, 표면상태 및 골재의 분포상태의 결과를 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있는 바와 같이 잔골재의 골재량과 입도를 달리할 경우 압축강도는 2.8~3.2MPa, 휨강도는 1.3~1.7MPa로 거의 골재량과 입도에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 이와 같이 압축강도와 휨강도가 낮게 나타났으나 바닥구조에서 마감 모르타르를 폴리우레탄 콘크리트 판넬위에 타설하기 때문에 강도에 따른 문제는 없는 것으로 평가되었다. 또한 공시체의 표면상태 및 경도는 발포량이 적은 A 배합이 우수하였고 MC의 양이 증가하면 표면 경도가 좋지 않았다. 골재의 분포상태는 4.3항에서 언급한 바와 같이 폴리우레탄 콘크리트 판넬 내부의 골재분포는 좋지않았다. 결과적으로 전체적인 성능과 경제성을 고려하면 배합 B를 선택할 수 있다.

Table 6 Evaluation of strengths and surface condition of polyurethane concrete

Type	Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Density (kg/m ³)	Surface condition	Aggregate distribution	Economical point
A	3.2	1.7	841	Excellent	Excellent	Good
B	2.9	1.4	392	Good	Good	Good
C	2.8	1.4	202	Poor	Good	Excellent
D	2.8	1.3	97	Poor	Good	Excellent

4.5 흡수율

Fig.8은 각 배합에 따른 폴리우레탄 콘크리트의 흡수율을 나타내고 있다. 발포된 폴리우레탄 콘크리트는 내부에 많은 기포를 형성하고 있지만 이러한 기포는 표면과 연결된 열린기포가 아니라 닫힌기포로서 내부에 존재하므로 폴리우레탄 콘크리트의 흡수 성능은 표면상태에 따라 좌우된다. 본 실험 배합에서 골재의 양 및 입도를 달리하여 발포에 의한 체적증가가 많으면 표면경도 및 표면상태가 약간 열악하여 흡수율이 증가하지만 그 정도는 미세하였다.

4.6 열전도율

단열재는 고체부분과 공극내의 기체부분으로 구성되어 있어 일반적으로 많은 공극기포를 가질수록 우수한 단열효과를 발휘할 수 있다. Fig.9는 폴리우레탄 콘크리트 판넬의 두께에 따른 열전도율의 측정결과를 나타낸 것이다.

본 실험결과 발포에 의한 체적증가가 클수록 내부에는 많은 기포가 발생하여 열전도율이 발포폴리우레탄 콘크리트 판넬의 두께가 증가할수록 크게 감소됨을 알 수 있었으며 이 값은 0.034~0.056kcal/m·h·℃ 정도로 보통콘크리트의 1.10~1.40 kcal/m·h·℃보다 약 50배정도 작으며 보통 공기(습도 33%)의 열전도율 0.026kcal/m·h·℃보다 약간 큰 정도로 단열성능이 매우 우수하였다. 이것은 폴리우레탄 수지가 발포할 때 생성된 기포들

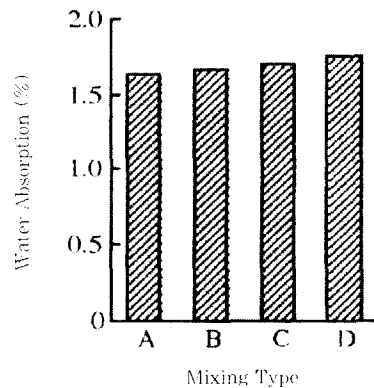


Fig. 8 Water absorption of polyurethane concretes

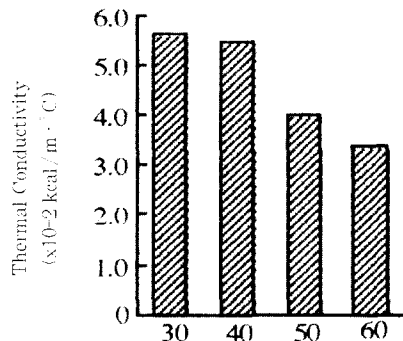


Fig. 9 Thermal conductivity according to thickness of polyurethane concrete panels

이 계면활성제인 실리콘의 영향으로 일정한 크기의 구조를 유지하면서 콘크리트 내부에 골고루 분산되어 있어 전달되는 열을 차단 해 주는 역할을 하여 우수한 단열효과를 나타낸 것으로 판단된다. 즉 폴리우레탄 콘크리트 판넬의 열전도율은 골재의 양에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. 다시말해 폴리우레탄 수지의 양이 많을수록 단열효과가 크게 나타났다. 따라서 본 폴리우레탄 콘크리트 판넬을 바닥재로서 사용시 우리나라의 바닥 난방구조에서 온수관 밑에 시공함으로써 난방의 효율을 증진시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4.7 바닥충격음

우리나라는 세계에서 유일할 바닥 난방구조를 가지고 있으나 고체유 전달에 의한 층간소음이 쾌적한 환경을 저해시키는 요인으로 지적되어 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며 각종 바닥구조의 개선에 따른 층간소음을 줄이기 위한 노력이 시도되고 있다.^{2) 10)}

바닥충격음은 소유원이 의자의 이동, 기구의 낙하음등과 같은 경량충격음과 어린이의 뛰는 진동소리 및 발자국 소리등의 중량충격음으로 분류할 수 있다. 우리나라의 공동주택에서 가장 문제시 되는 내부소음에서 어린이 뛰는 소리가 가장 지적의 대상이 되고 있다.

Fig.10은 폴리우레탄 콘크리트 판넬을 시공한 바닥구조에 대한 바닥충격음 시험 결과를 나타내고 있다. 경량 및 중량바닥 충격음 시험에 관계없이 가청 주파수 63~2,000 Hz에서 폴리우레탄 콘크리트 판넬로 시공한 바닥구조가 기존의 바닥구조보다 훨씬 우수한 차음성능을 발휘하였다. 주파수 125~2,000 Hz에서의 폴리우레탄 콘크리트 판넬로 시공된 바닥구조와 기존의 바닥구조와의 중량충격음 레벨 차이는 약 10dB 정도이나 경량충격음 레벨 차이는 주파수가 증가할수록 그 폭이 커져 주파수 2,000 Hz에서 최대 20.4dB 차이를 보여 폴리우레탄 콘크리트 판넬을 사용함으로써 중량충격음보다 경량충격음에 대한 차음성능이 우수함을 알 수 있었다.

본 연구에서와 같이 완충재료를 사용한 바닥구조의 차음등급은 경량충격음은 250~500Hz의 중파수 대역과 중량충격음은 125~250Hz의 저·중주파수 대역에서 결정된다고 보고되고 있다.¹¹⁾ 이것을 고려

해 볼 때 JIS A 1419(건축물의 차음등급)에 의한 기존 바닥구조의 경량 및 중량충격음 시험결과의 등급은 L-70과 L-60로 나타난 반면, 폴리우레탄 콘크리트 판넬을 시공한 바닥구조의 경량 및 중량충격음 시험결과의 등급은 L-60 또는 L-50으로 우수하게 나타났다. 이 값은 「주택건설촉진법, 주택건설기준등에 관한 규정」에 의한 경량 및 중량충격음에 대한 기준으로 평가할 때 1급의 성능으로 나타났다.

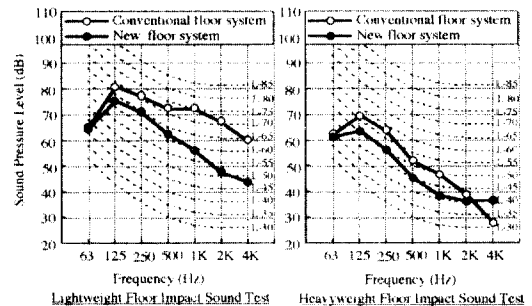


Fig. 10 Curves for floor impact sound test results of floor systems

본 실험결과, 폴리우레탄 콘크리트 판넬을 바닥재로 사용할 경우, 재료측면에서는 폴리우레탄 콘크리트를 제작시 필요한 수지 및 첨가제의 단가가 기존 바닥구조의 보통 콘크리트 제작시 보다 높으나 시공시의 공정의 단축과 전술한 단열효과로서 난방효율을 높일 수 있어 결과적으로 경제성에서 유리한 것으로 판단되었다. 또한 기존 바닥구조에 비해 우수한 차음성능을 보이고 있는 폴리우레탄 콘크리트 판넬의 중량바닥충격음에 대한 차음성능을 높이기 위한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

5. 결론

본 연구의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 폴리우레탄 콘크리트의 사용가능시간은 촉매의 양에 의해 크게 영향을 받으며 폴리우레탄 수지의 점도를 낮춰 시공성을 좋게하기 위해서는 메칠 클로라이드 용액의 첨가로서 조절할 수 있었으며 경제성과 성능면에서의 밸런스를 갖춘 혼입비를 유도할 수 있었다.

2) 폴리우레탄 콘크리트의 발포에 의한 체적변화는 수지의 양이 많을수록 컸으며 골재의 혼입량과 입

도로서 조절할 수 있었다.

3) 폴리우레탄 콘크리트의 압축강도 및 휨강도는 최적배합에서 낮은 강도를 보였으나 바닥재로 사용할 때의 문제는 없는 것으로 판단되었다. 또한 흡수율은 배합의 종류에 관계없이 거의 차이가 없이 폴리우레탄 콘크리트의 표면상태에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

4) 폴리우레탄 콘크리트 판넬의 열전도율은 매우 우수하였으며 두께의 증가에 의해 크게 감소시킬 수 있었다. 또한 폴리우레탄 콘크리트 판넬의 바닥재로서의 시공에 의해 층간소음을 상당히 감소시킬 수 있었다.

5) 본 실험결과, 폴리우레탄 콘크리트 판넬을 바닥재로 사용할 경우 차음성능, 단열 효과 시공공정단축, 내구성증가 등의 복합적인 장점을 얻을 수 있으며 경제성과 성능의 밸런스를 갖춘 최적배합비를 도출할 수 있었다.

참고문헌

1. Grigat, E. and Dieterich, D., "Principles of Polyurethane Chemistry and Special Applications", Polyurethane Handbook, 2nd Edition, Ed. G. Oertel, Hanser Publishers, Munich Vienna New York, 1994, pp.11-17.
2. Hepburn, C., "Polyurethane Elastomers", Applied Science Publishers, London and New York, 1982,

pp.1-26.

3. Feldman, D., "Polymeric Building Materials", Elsevier Applied Science, 1989, pp.402-410.
4. Ashida, K., and Frisch, K.C., "International Progress in Urethanes", Volume 3, Technonic Publication, 1981, pp.1-219.
5. Chandra, S. and Ohama, Y., "Polymers in Concrete", CRC Press, 1994, pp.94-102.
6. Schauerte, K. and Gupta, P., "Raw Materials", Polyurethane Handbook, 2nd Edition, Ed. Oertel, G., Hanser Publishers, Munich Vienna New York, 1994, pp.55-56.
7. 박윤성, "건축계획원론, 전열이론", 문운당, 1996, p.118.
8. 김선우, "공동주택 차음성능 평가에 관한 연구", 서울대학교 박사학위논문, 1988.
9. 대한주택공사, "공동주택 내부소음 저감 방안에 관한 연구", 주택연구자료 082, 1989.
10. 김선우 외5인, "바닥충격을 차음성능 기준 및 등급화에 관한 연구(I)", 대한건축 학회 논문집, 6권2호, 1990, pp.243-252.
11. 신일섭, 손장열, 조창근, "공동주택의 바닥충격을 저감방안에 관한 연구", (주)대우 기술정보, 21호, 1994, pp.147-150.
12. 김기동, 정성철, 김민배, "공동주택의 상하층간 충격소음 방지시스템 개발에 관한 실험연구", 대한건축학회 논문집, 11권 5호, 1995, pp.97-108.
13. 김기동, 정성철, "공동주택 상하층간 충격소음 방지시스템 개발에 관한 실험연구 (II)", (주) 대우 기술논문, 1996, pp.92-120.

요 약

본 연구는 폴리우레탄 콘크리트 판넬의 바닥재로서의 이용 가능성을 검토하기 위하여 수행되었다. 따라서 각종 요구되는 성능에 부합되는 배합을 달리한 폴리우레탄 콘크리트를 제작하여 각종 물성 실험을 실시하였다. 또한 폴리우레탄 콘크리트 판넬을 제작하여 직접 현장에서의 시공한 후 바닥충격을 실험을 실시, 그효과를 평가하였다. 실험결과, 폴리우레탄 콘크리트의 성능과 코스트의 밸런스가 적절하게 확보된 최적 배합비를 도출할 수 있었으며, 특히 기존 바닥구조에 비해 공동주택의 층간소음을 어느정도 줄일수 있고 동시에 시공공정의 단축과 단열효과로 보다 더 우수한 바닥난방구조를 제안할 수 있었다.

(접수일자 : 1997. 11. 21)